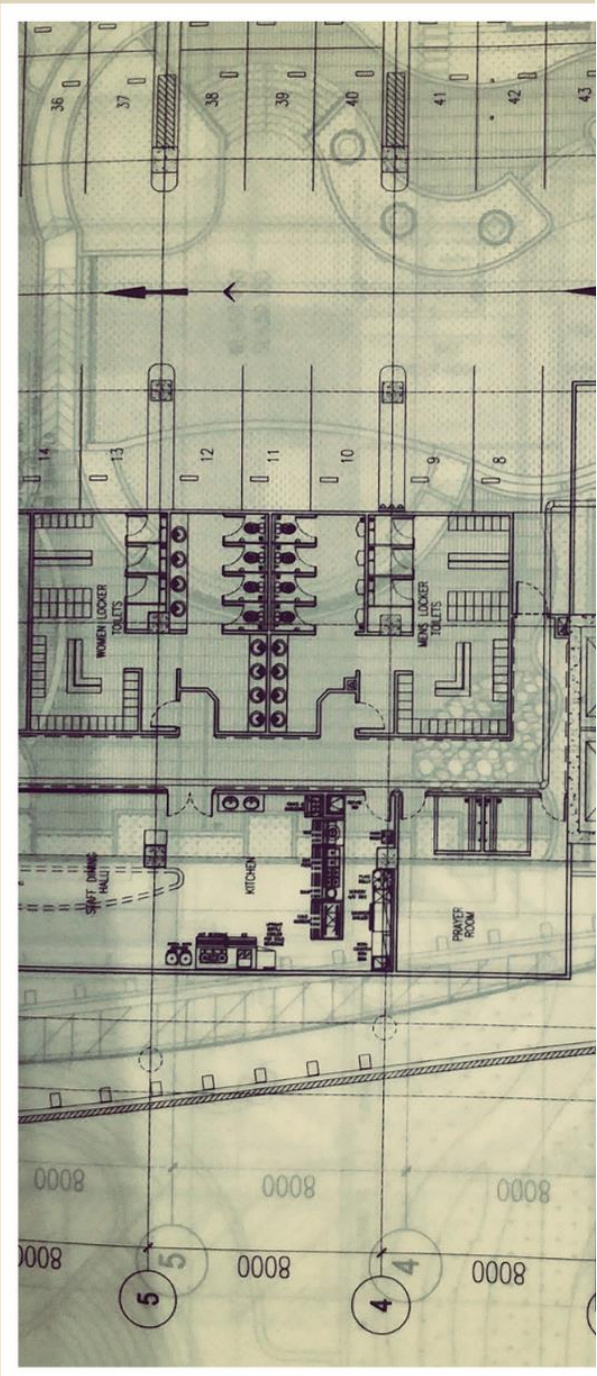
ENGENHARIA, GESTÃO E INOVAÇÃO

ORGANIZADORES

ALINE MARA OLIVEIRA

OSVALDO SENA GUIMARÃES



VOLUME 9

Editora Poisson

Aline Mara Oliveira
Osvaldo Sena Guimarães
(Organizadores)

Engenharia, Gestão e Inovação
Volume 9

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2023

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57
Engenharia, Gestão e Inovação – Volume 9/
Organizadores:Aline Mara Oliveira,Osvaldo Sena Guimarães – Belo Horizonte - MG: Editora Poisson, 2023

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-294-5
DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação. I. OLIVEIRA, Aline Mara II. GUIMARÃES,Osvaldo Sena III. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Implementação de etapas para controle e garantia de qualidade (QA/QC) em um laboratório físico de beneficiamento de bauxita 06

Natália Esteves dos Santos, Jaqueline Bianca Carvalho Duarte, Marlice Cruz Martelli

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.01

Capítulo 2: Produção de sedimento em bacia urbana 14

Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva (in memoriam), Marcel Felipe Tonetto Costas

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.02

Capítulo 3: Estudo experimental sobre a formação de poluentes em chamas pré-misturadas 29

Lucas Ruan Santos Oliveira, Fernando Lima de Oliveira, Flávio Nunes Pereira, Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho, Claudia Rosa do Espírito Santo Nóbrega, Ricardo Yvan de La Cruz Cueva

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.03

Capítulo 4: Considerações teóricas e práticas para o cálculo da emissão de CO_2 para transportadoras de cargas 48

Luiz Eduardo Simão, Marcos Antônio Cezne, Gessica Luiza Scariot

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.04

Capítulo 5: Tratamento de águas residuais: Uma revisão sobre a adsorção do azul de metileno em bagaço de cana-de-açúcar 63

Kessi Jhony de Araújo Silva, Micaelli Ciane Sobrinho de Sousa, Magno de Lima Silva, Wellyson Jorney dos Santos Silva, Maria Lúcia da Silva Rodrigues

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.05

Capítulo 6: Desenvolvimento experimental de um mini tunel de vento para estudos aerodinâmicos 78

Fernando Lima de Oliveira, Diógenes Leite Souza, Mauro Sérgio Silva Pinto, Lourival Matos de Souza Filho, Ubiraci Silva Nascimento, José Bello Salgado Neto

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.06

SUMÁRIO

Capítulo 7: Simulação da planta de quatro tanques usando softwares de acesso aberto 97

Cleiton Bittencourt da Porciúncula

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.07

Capítulo 8: A relevância da tecnologia dos silos verticais para o Porto de Santos frente a defasagem dos armazens horizontais 113

Jose Carlos Santos Santana, Thais Cristina Oliveira Maciel Corrêa

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.08

Capítulo 09: Manual básico ilustrado do Reômetro de torque Haake PolyLab OS 132

Ryan Ferreira dos Santos, Luziany Gomes da Nóbrega, André Romulo Rozado de Sousa, Lucineide Balbino da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.09

Capítulo 10: Reflexões: Transmídia nas Geociências..... 152

Ademilson Carlos Teixeira, Alfredo Borges de Campos

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.10

Capítulo 11: Estudo comparativo da estabilidade de taludes em maciço rochoso em trechos da PE-160 e BR-104 por classificações geomecânicas 168

Tallys Celso Mineiro, Carlos Rodrigues Pontes, Shirley Minnell Ferreira de Oliveira, Gabriel Magno Cavalcante Calado

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.11

Capítulo 12: Ficocianina da *Arthospira (Spirulina) platensis*: Uma revisão do efeito da intensidade de luz nos cultivos 174

Ingrid Rocha Teixeira, Marlene Guevara dos Santos

DOI: 10.36229/978-65-5866-294-5.CAP.12

Autores 182

Capítulo 1

Implementação de etapas para controle e garantia de qualidade (QA/QC) em um laboratório físico de beneficiamento de bauxita

Natália Esteves dos Santos
Jaqueline Bianca Carvalho Duarte
Marlice Cruz Martelli

Resumo: Neste trabalho são apresentadas as implementações de melhorias nas etapas de controle e qualidade (QA/QC) de amostras de bauxita do final de um processo de beneficiamento do minério para embarque e venda. As amostras foram submetidas ao processo de britagem, homogeneização, quarteamento, pulverização e análise química para diagnóstico inicial do processo. Com as análises iniciais realizadas foi possível perceber oportunidades de melhoria na gestão e garantia do controle de qualidade. Intervenções foram realizadas para manutenção e aprimoramento do processo que resultaram em um acréscimo de eficiência no britador de mandíbulas, redução de perda de massa, melhorias operacionais na manipulação dos equipamentos de homogeneização e pulverização e, testes periódicos para o acompanhamento do processo.

1. INTRODUÇÃO

O processo de beneficiamento de um minério passa por etapas que envolvem britagem, lavagem e secagem em uma usina de grande porte, antes de ser direcionado ao embarque final. Enquanto o embarque é realizado, amostras são retiradas aleatoriamente para análise nos laboratórios físico e químico, onde a amostra passa por pelo processo de britagem secundária em um britador de mandíbulas para redução de massa e homogeneização e, por fim, pulverizada para ser direcionada à análise química de teores presentes. As análises periódicas nestas etapas são de extrema importância para garantia e controle de qualidade no processo.

O beneficiamento dentro de um laboratório deve contar com um sistema de gestão de qualidade confiável e coerente para com o material a ser trabalhado e no que laboratório físico deve-se considerar a norma ISO 6140:2011 – Minérios de Alumínio – Métodos de Preparação de Amostras para estudo e implementação das fases para QA/QC.

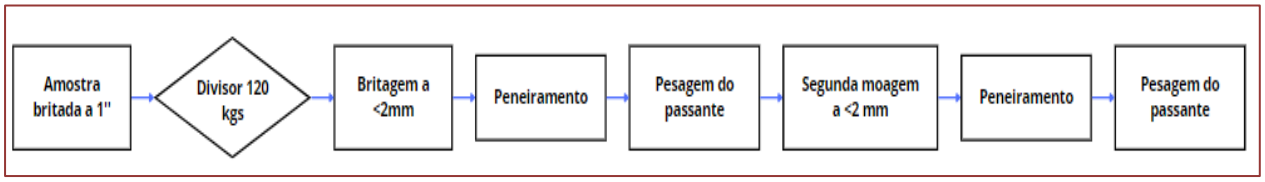
Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo mostrar as melhorias implementadas que se referem à gestão de manutenção e operação dos equipamentos, controle de processo e confiabilidade nos dados gerados através de rastreabilidade e reprodutibilidade.

2. METODOLOGIA

2.1. BRITADOR DE MANDÍBULAS

A metodologia utilizada para as análises experimentais para o britador de mandíbulas baseou-se na avaliação de desempenho do equipamento de acordo com as especificações da ISO 6140:11 – Minérios de Alumínio – Preparação de Amostras. O material, após cominuído no britador de mandíbulas JC2501, deve passar em uma taxa acima de 95% em peneira <2mm e pesado antes e após o peneiramento. Para a perda de massa, o limite superior de controle é 5%. A análise foi realizada com material de arquivo de embarque proveniente da britagem da usina de beneficiamento de uma mineradora na região amazônica e, posteriormente, cominuído em <2mm. A Figura 1 mostra as etapas do processo de validação do britador de mandíbulas.

Figura 1: Fluxograma do processo dos testes de validação do britador de mandíbulas



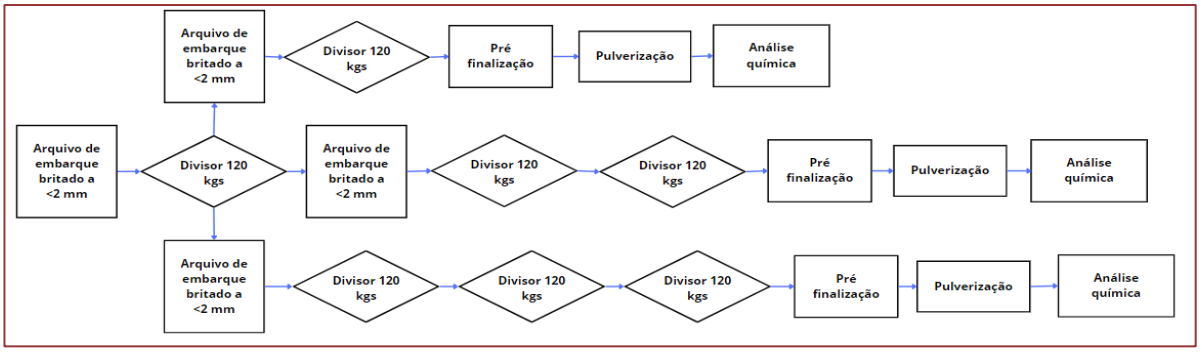
Fonte: Autoras (2023).

2.2. DIVISORES DE CANECA

A análise de precisão dos divisores de amostras foi realizada por meio do processo de homogeneização em sequência. O teste de validação dos equipamentos de homogeneização foi realizado em duas etapas: a análise física (distribuição mássica), e análise química (análise de teores de interesse). O material fora cominuído a < 2mm na

etapa anterior. Ao que se refere ao divisor, utilizou-se um quarteador de 12 canecas de capacidade até 120 kgs/h. A amostra primária fora quarteada no divisor em três incrementos, em que 4 canecas formam 1 incremento. Para a próxima etapa de divisão utilizou-se um divisor de calha de 4 canecas com capacidade de 2L/h. O material fora quarteado, gerando incremento da mesma forma da etapa anterior. Os fluxos foram divididos por incremento, no qual o primeiro fluxo é homogeneizado somente uma vez, o segundo fluxo é homogeneizado duas vezes em sequência e o terceiro fluxo é homogeneizado três vezes em sequência, buscando a melhor homogeneização possível de massa e teor. Os testes foram realizados da mesma maneira para os dois divisores, como mostrado no fluxograma da Figura 2.

Figura 2: Fluxograma do processo de testes para validação do divisor de 12 canecas (ou 120 kgs)



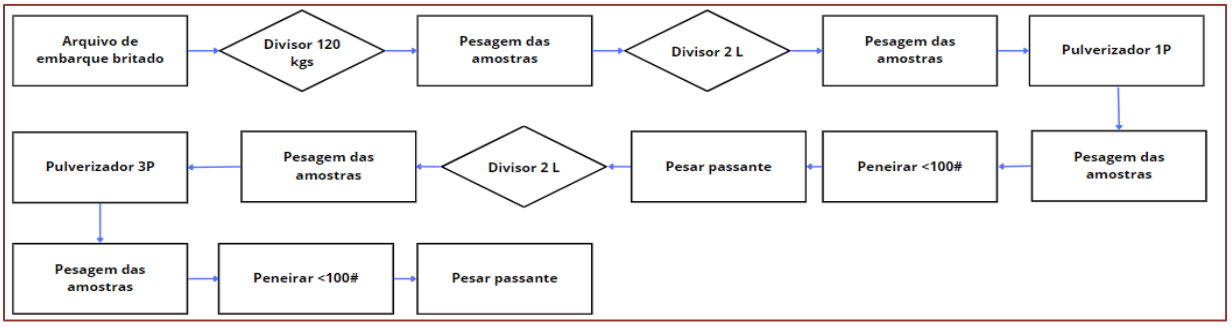
Fonte: Autoras (2023).

2.3. PULVERIZADORES

Para a validação do processo de pulverização foi necessária a análise no pulverizador de 1 panela, de capacidade de 50mL a 300mL, por onde o material deve passar para fim de redução de massa e a amostra fora pulverizada duas vezes para que se consiga a granulometria correta para a análise química. Na pulverização final utilizou-se o pulverizador de 3 panelas de capacidade de 50 mL. Ambos os equipamentos possuem malha <400# como granulometria final. O material foi peneirado a seco após o processo, em taxa superior a 95% passante em peneira de 149µm e pesado antes e após o peneiramento para controle de perda de massa durante a análise. Para perda de massa, o limite superior de controle é de 5%. A análise foi realizada em duplicata e peneirada a 149µm.

Para o teste do pulverizador de 3 panelas, o material foi submetido aos mesmos testes do equipamento anterior. Na Figura 3, é apresentado o fluxograma das etapas realizadas nos pulverizadores.

Figura 3: Fluxograma de etapas para validação dos pulverizadores



Fonte: Autoras (2023).

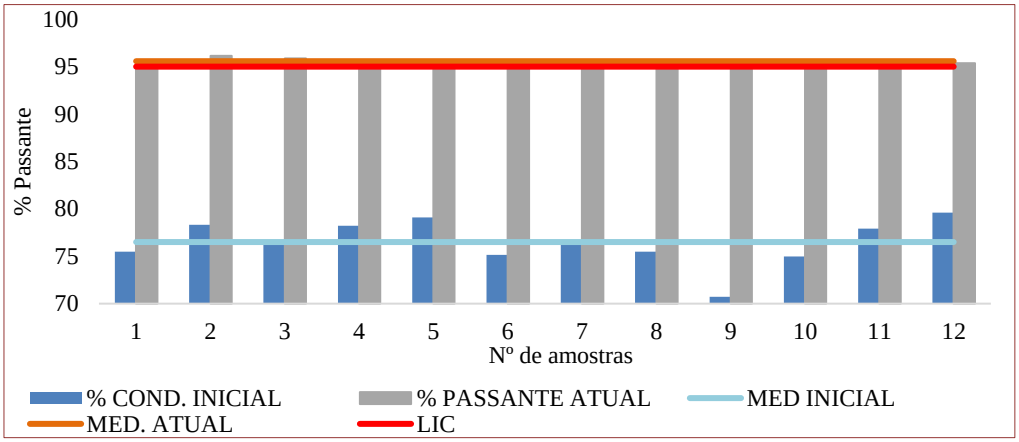
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. BRITAGEM

Pelos resultados dos testes preliminares, anteriores às melhorias, observou-se que a condição inicial do equipamento não era satisfatória para os padrões idealizados pela norma. A média experimental não atendia a condição mínima necessária, com deficiência de 18,4%. Ao que se refere a perda de massa, o diagnóstico inicial era uma média de 13,42%. Fez-se necessário o início de uma investigação para a mitigação do problema. Iniciou-se a investigação realizando inspeção visual no britador de mandíbulas, em que foi constatada a necessidade de limpeza geral e lubrificação junto à equipe de manutenção mecânica. Durante a manutenção, foi constatada a necessidade de troca do rolamento e atualização do plano de manutenção preventiva. O acúmulo de material agregado no rolamento impedia o pleno funcionamento e seleção da abertura correta das mandíbulas.

Após a ação no equipamento, os testes propostos foram feitos novamente a fim de avaliar os resultados das intervenções. A nova média experimental obtida para eficiência de 95,5% comprova que o plano foi efetivo, mostrando 19,1% de melhoria na performance do britador. Quanto a perda de massa, após as intervenções realizadas a média passou a ser de 2,8% assim, atendendo os padrões exigidos pela norma. O Gráfico 1 mostra as modificações.

Gráfico 1: Resultados comparativos Antes x Depois das intervenções



Fonte: Autoras (2023).

3.2. HOMOGENEIZAÇÃO

Para validação da homogeneização nos divisores de caneca, a distribuição mássica é fator de interesse para a investigação. A análise estatística da divisão do quarteador de 12 canecas foi satisfatória, uma vez que as médias de massa, em kg, dos incrementos seguiram a mesma linha, com variação entre si de ±0,03kg. Quanto ao desvio padrão, mostrou-se igualmente conveniente conforme a variação da homogeneização, diminuindo conforme o aumento do número de homogeneizações de 1x até 3x, com variações de ±0,03, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Dados da média das massas e desvio padrão por incremento no quarteador de 12 canecas

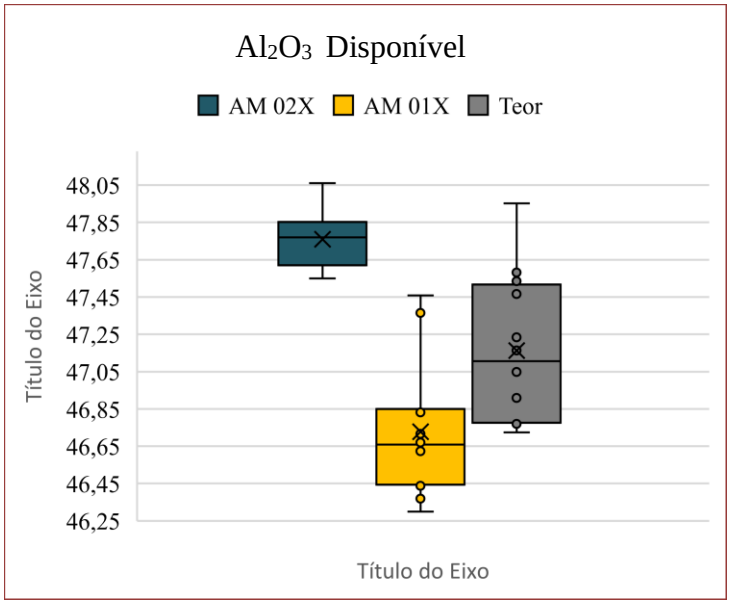
	Amostra 1x	Amostra 2x	Amostra 3x
Média (kg)	2,66	2,63	2,65
Desvio padrão	0,09	0,07	0,06

Fonte: Autoras (2023).

Além da análise de massa, as amostras foram analisadas no laboratório químico para quantificação dos teores de interesse. Observa-se que, em relação às médias para os teores de interesse – Alumina disponível e Sílica reativa – não se comportam de forma coerente para Sílica reativa. Nesta avaliação, as evidências relacionadas aos teores de interesse, mostram que a homogeneização não é representativa para o teor de Sílica.

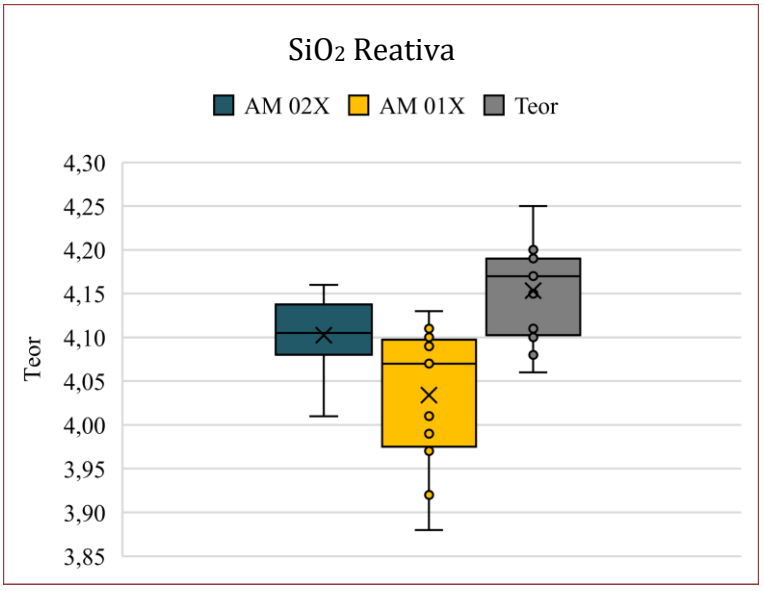
Nesta etapa, foram identificados erros de processo operacional no equipamento seguinte ao fluxo, o quarteador de 4 canecas, onde a segregação do material fora prejudicada como resultado de interferências humanas no processo. O material a ser utilizado nesta etapa da avaliação passa pelo equipamento em questão para a análise química. Os Gráficos 2 e 3 mostram os resultados obtidos para os teores de alumina e de silica reativa respectivamente.

Gráfico 2: Teor de Alumina Disponível na amostra referente ao quarteador de 12 canecas



Fonte: Autoras (2023).

Gráfico 3: Teor de Sílica Reativa na amostra referente ao quarteador de 12 canecas.



Fonte: Autoras (2023).

Para o quarteador de calhas, o teste possui a mesma premissa do anterior. Após a divisão, as amostras foram pesadas e comparadas. A análise estatística não foi satisfatória, uma vez que as médias de massa dos incrementos não seguiram a mesma linha, com variação considerável de ±0,29 kg. Quanto ao desvio padrão, mostrou-se também desproporcional, com variações não lineares conforme as homogeneizações ocorriam de ±1,47. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

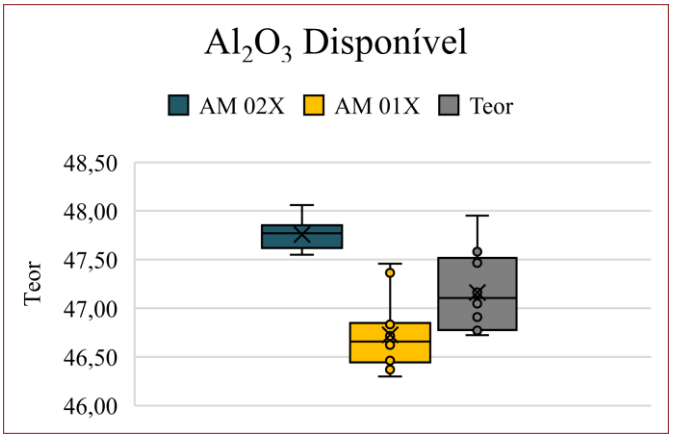
Tabela 3: Média das massas e desvio padrão por incremento no quarteador de calha

	Amostra 1x	Amostra 2x	Amostra 3x
Média (kg)	73,79	74,92	76,69
Desvio padrão	3,46	1,99	2,49

Fonte: Autoras (2023).

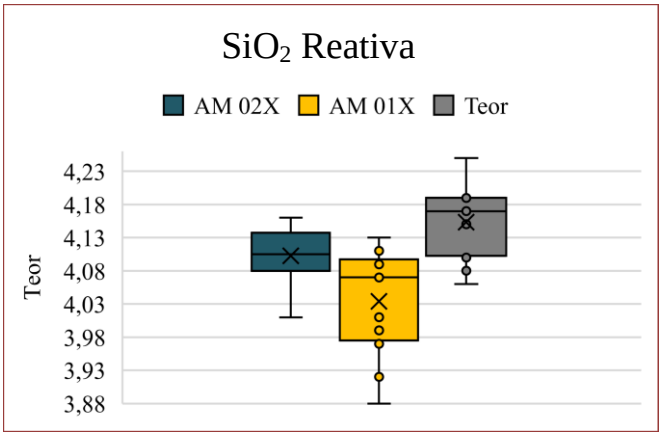
Para a análise química, o processo foi feito da mesma forma, conforme citado na etapa anterior. Os resultados desta etapa do processo sofreram interferência humana operacional. Durante a manipulação do quarteador de 4 canecas, observou-se que a segregação era feita de maneira inconsistente, visto que a vibração do equipamento não era padronizada, resultando em segregação na parte central do carrossel, onde foram utilizados pincéis para retornar a massa segregada ao processo, resultando nas falhas identificadas na homogeneização dos teores de interesse e massa neste equipamento. Os Gráficos 4 e 5 mostram os resultados para o quarteamento de alumina e de silica reativa respectivamente.

Gráfico 4: Teor de Alumina Disponível na amostra referente ao quarteador de calha



Fonte: Autoras (2023).

Gráfico 5: Teor de Sílica Reativa na amostra referente ao quarteador calha



Fonte: Autoras (2023).

3.3. PULVERIZAÇÃO

O resultado da investigação inicial desta etapa constatou a necessidade de controle de contaminação e inspeção periódica. O resultado obtido na primeira etapa da pulverização com o pulverizador de 1 panela não foi satisfatório, com média de 65,4% de passante a 149µm, necessitando da segunda etapa de pulverização, como previsto no teste. O processo de material de embarque foi simulado e a amostra foi pulverizada duas vezes no equipamento em questão, obtendo 96% de passante a 149µm. A perda de massa neste equipamento foi de 1,1%. Constatou-se conformidade no equipamento para com a norma utilizada como referência.

Para o pulverizador de 3 panelas, os resultados atingiram 96% de passante a 149µm já na primeira vez que a amostra foi submetida ao processo, conferindo ao equipamento um excelente desempenho de cominuição. Para a avaliação do equipamento de acordo com os padrões da ISO 6140:11, fez-se a análise dos resultados de acordo com o fluxo de amostras de embarque. A perda de massa neste equipamento foi cerca de 0,5%. Nas análises o pulverizador de três panelas foi eficaz e garantiu > 95% de passante, já na primeira pulverização, com perda de massa inferior a 5%, atendendo à norma. Para os dois pulverizadores o tempo no processo foi de 120 segundos, o que representa uma melhoria muito boa.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos na realização deste trabalho, constatou-se que é necessário um controle de desempenho semanal para atuação nos equipamentos do processo em questão, para garantia e controle de qualidade do material. Uma das medidas tomadas em relação às melhorias a foi a implementação de cartas de controle para rastreabilidade dos dados dos testes, onde monitora-se a perda de massa e a eficiência de cada equipamento, bem como códigos para cada panela dos pulverizadores, em que facilita rastrear os possíveis inconvenientes e acompanhar o desgaste do material. Outras mudanças foram, a eliminação do uso do pincel na etapa do quarteador de calhas, bem como a vibração ajustada e padronizada e, o plano de manutenção foi atualizado para atender a necessidade atual do maquinário.

Neste contexto, foi possível mostrar a relevância do controle de qualidade para a confiabilidade de um processo dentro de um laboratório em uma indústria. As melhorias implementadas mostradas neste trabalho agregaram valor ao produto final.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 6140:2011 – Minérios de Alumínio – Métodos de preparação de amostras. Rio de Janeiro, 2011.

[2] BORTOLETO, Daniel Armelim. Otimização de protocolos de amostragem para minério de alumínio - proposta para norma brasileira. In: BORTOLETO, Daniel Armelim. Otimização de protocolos de amostragem para minério de alumínio - proposta para norma brasileira. Orientador: Profa. Dra. Ana Carolina Chieregati. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. f. 155.

Capítulo 2

Produção de sedimento em bacia urbana[1]

Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva (in memoriam)
Marcel Felipe Tonetto Costas

Resumo: Este trabalho apresenta resultados da produção de sedimentos da bacia hidrográfica Alto da Colina, pequena bacia hidrográfica em urbanização, a partir de medições com amostrador manual AMS-1 e automático ANA. São discutidos métodos de amostragem para essa avaliação e comparados os resultados com os obtidos com outras bacias da região. Os resultados mostraram bom ajuste da concentração de sedimento com a vazão. Resultados semelhantes, obtidos com amostrador automático, mostraram baixa correlação. As comparações da curva-chave obtida para a bacia em estudo com outras semelhantes mostraram a coerência dos resultados e a influência da urbanização no aumento da produção de sedimentos. A turbidez apresentou boa correlação com a concentração de sedimentos, concluindo que o melhor ajuste foi o exponencial.

Palavras-chave: Produção de sedimentos em bacias urbanas, representatividade da amostragem, carga de lavagem.

[1] Apresentado no V Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2002, São Paulo: ABRH.

1. INTRODUÇÃO

A urbanização provoca um aumento na quantidade de poluentes nas bacias hidrográficas, destacando-se os sedimentos, óleos, fertilizantes, pesticidas, etc. O aumento da velocidade e volume da água pode causar muitos impactos, destacando-se a erosão das margens dos rios, aumento da turbidez, poluição e temperatura da água. Estes efeitos, além de prejudicar o corpo d'água receptor, interferem nas condições sanitárias das populações ribeirinhas.

A avaliação da produção de sedimentos em bacias urbanas apresenta grandes dificuldades. Existem muito poucos dados de produção de sedimentos em bacias urbanas, sendo que alguns estudos apontam, conforme Ramos [1], para um aumento de 5, 10 e até 50 vezes a produção de sedimentos da bacia hidrográfica original.

Conforme Matos et al [2], os parâmetros poluentes mais representativos na drenagem urbana parecem ser as partículas (sólidos em suspensão), os metais (sobretudo chumbo, zinco e ferro) e os hidrocarbonetos. Eles apresentam comparação entre valores de zona urbana e rural, que no caso de sólidos suspensos, os valores médios são de 26 mg/L na zona rural e 220 mg/L na zona urbana. No entanto, tais valores podem ser bastante variáveis, Gomes e Chaudhry [3] encontraram em duas pequenas bacias hidrográficas de São Carlos, SP, concentrações de sólidos totais variando de 171 mg/L a 3499 mg/L. De Luca et al [4] também observaram que a drenagem pluvial de uma bacia de 1,8 ha na área urbana de Porto Alegre era mais rica em materiais minerais. A concentração de sólidos totais neste caso variou de 160 a 10225 mg/L, com média de 1522 mg/L. Resultados obtidos em bacias hidrográficas rurais em Santa Maria, conforme Branco et al [5], mostraram uma variação de 20 a 1200 mg/L para a concentração de sedimentos medida, enquanto Paiva et al [6] apresentam valores que chegam a atingir 11000 mg/L, para a mesma região.

Para avaliação da concentração de sedimentos em suspensão do escoamento superficial é necessária a coleta da água em eventos de cheia. Isto não é uma tarefa fácil no caso de pequenas bacias urbanas, uma vez que os eventos ocorrem em poucas horas e muitas vezes durante a noite, o que normalmente impossibilita qualquer avaliação. Com a finalidade de facilitar a obtenção destas informações, muitas vezes são utilizados amostradores automáticos de qualidade da água.

Este trabalho apresenta resultados da produção de sedimentos da bacia hidrográfica Alto da Colina, pequena bacia em urbanização. São apresentados resultados obtidos com amostrador automático de nível ascendente e com amostrador manual AMS-1. São discutidos métodos de amostragem para essa avaliação e comparados os resultados com os obtidos com outras bacias da região.

2. A BACIA HIDROGRÁFICA EM ESTUDO

Na cidade de Santa Maria, como na maioria das cidades brasileiras, os problemas de drenagem urbana são bastante marcantes. Com a finalidade de quantificar os problemas locais de drenagem urbana na cidade, vem sendo monitorada uma pequena bacia hidrográfica em urbanização, desde 1999, no bairro de Camobi.

A bacia hidrográfica Alto da Colina é uma bacia pequena, tem uma área de 1,80 km^2 e perímetro de 4,9 km. Possui pouca declividade, 4,98 % e uma diferença de altitude de 20 m entre a nascente e a foz. O rio principal possui 1,85 km de comprimento e

declividade de 0,007 m/m. A cobertura vegetal é composta de mata de eucaliptos (12,3%), área urbanizada (19,7%), pastagens (55,4%) e área de cultivo de soja, milho e feijão (12,6%). Possui no seu interior pequeno reservatório, pequenas propriedades e muitas estradas de terra. O solo possui permeabilidade de média a baixa. Está localizada nas coordenadas geográficas 53º43'37'' de latitude sul e 29º41'70'' de longitude oeste, às margens da rodovia RS-509. A figura 1 apresenta mapa da bacia.

3. MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOMÉTRICO

Estão em operação estações pluviográfica e fluviográfica, providas de registrador eletrônico com data-logger, e medição de vazão. A figura 1 apresenta a localização destas estações na bacia. A estação fluviográfica está instalada em trecho do rio revestido com alvenaria de pedra, apresentando uma seção transversal bem definida, que apresenta grandes facilidades no ajuste de vazões máximas. No entanto, devido às suas características urbanas, o acúmulo de lixo em períodos secos dificulta o ajuste de vazões mínimas. No período monitorado foi encontrada uma vazão máxima de 12,5m^3/s.

Para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão foram utilizadas duas formas de amostragem,amostrador automático e amostrador manual.

Foi utilizado o amostrador de nível ascendente automático ANA (Umezawa [7]), que corresponde ao US-U-59 citado pelo SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION [8]. Este amostrador coleta amostras durante a elevação do nível de água por ocasião de cheias. Foram instaladas 7 garrafas para coleta da água, a cada 14 cm de profundidade, iniciando na cota 0,53 m, que corresponde a uma vazão de 0,73 m^3/s e terminando na cota 1,51 m, que corresponde a uma vazão de 7,35 m^3/s. A figura 2 apresenta fotografia deste amostrador no campo. Uma vez que as precipitações máximas da região ocorrem durante a noite, a utilização deste amostrador foi de grande utilidade, permitindo a coleta de amostras de água em horários que apresentam dificuldade de coletas manuais, apesar da amostra representar a concentração de sedimentos em uma faixa compreendida entre a superfície e um ponto localizado à aproximadamente 15 cm abaixo da superfície da água, durante a subida da onda de cheia.

Figura 1. Mapa da Bacia Hidrográfica Alto da Colina

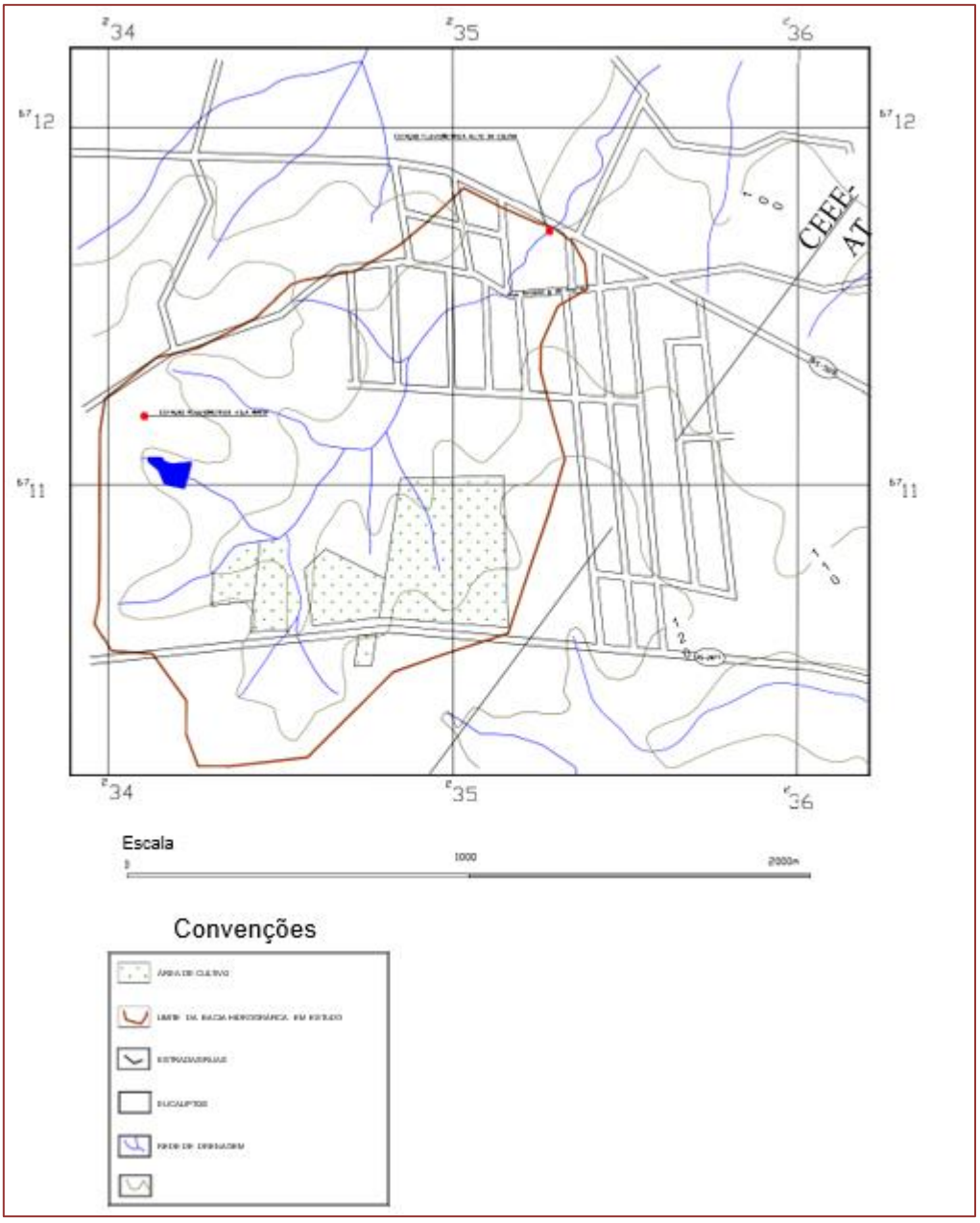


Figura 2. Amostrador de sedimentos em suspensão de nível ascendente automático ANA

Também foi utilizada a coletada de amostras através do amostrador manual, AMS-1. Este aparelho permite a retirada de amostras integradas na profundidade, em verticais representativas da seção. A coleta foi realizada em três verticais, centro e a um quarto das margens da seção transversal.

A concentração de sedimentos em suspensão foi realizada em laboratório, através do método da filtração, conforme recomendação do Task Committee [9]. Foram determinados sólidos totais dissolvidos, sólidos suspensos fixos e turbidez.

4. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS OBTIDOS COM AMOSTRADOR DE NÍVEL ASCENDENTE AUTOMÁTICO

Foram coletadas amostras de água, através do amostrador de nível ascendente automático ANA, em 13 eventos de chuva, no período de setembro de 2000 a abril de 2001. Concordando com observações da bibliografia [4], os sólidos orgânicos representaram somente 7% dos sólidos totais e esta relação manteve-se constante, como se pode observar na figura 3. Os valores observados de concentração de sedimentos (sólidos totais) apresentaram média de 2596 mg/l, desvio padrão de 1904 mg/l, valor máximo observado de 8455 mg/l e mínimo observado de 506 mg/l,

nos eventos chuvosos. A figura 4 apresenta gráfico que relaciona a concentração de sedimentos com a vazão (m^3/s). Pode-se observar que a correlação não foi satisfatória, impossibilitando a determinação da curva chave de sedimentos. Tendo em vista as dimensões da bacia e a diversidade de uso do solo, as contribuições apresentam grande dependência do períodoanalisado. Paiva et al [6], utilizando esta metodologia para uma pequena bacia rural, observou que embora o conjunto de dados não se correlacionasse, quando foram utilizados dados de eventos isolados a correlação cota x concentração e cota x vazão ficou na faixa de 90%. No entanto, neste caso esta constatação não foi verificada.

Figura 3. Relação entre a concentração de sólidos totais e sólidos fixos

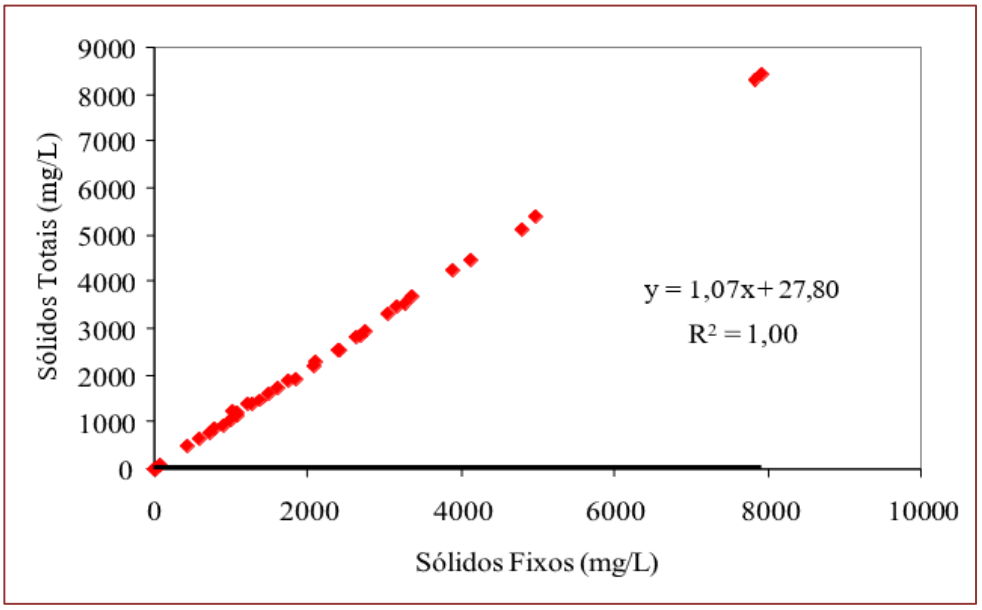
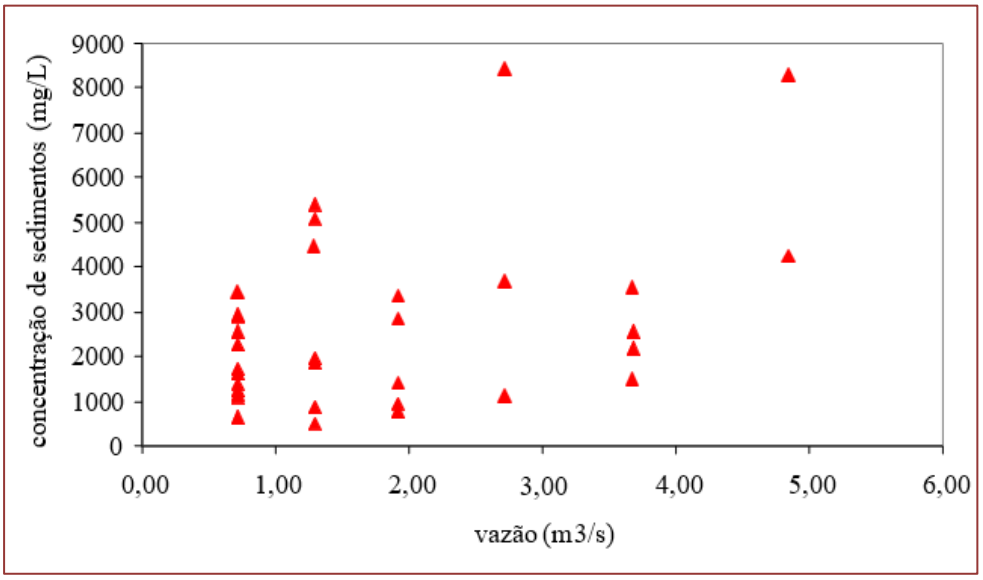


Figura 4. Relação entre concentração de sedimentos (mg/L) e vazão (m3/s)



As figuras 5 a 8 apresentam gráficos durante eventos de chuva, relacionando a vazão e a concentração de sedimentos no tempo. Pode-se constatar um comportamento semelhante, que também é o caso dos outros eventos não apresentados. A concentração de sedimentos no início da cheia é bastante elevada, apresentando um pico, que possivelmente corresponde à carga de lavagem das ruas, verificando-se a seguir uma redução do valor da concentração de sedimentos, comparativamente com o acréscimo da vazão. Estas constatações podem influenciar na dificuldade de construção de curva-chave de sedimentos, uma vez que a carga inicial depende das condições de chuva antecedente, intensidade da chuva e carga disponível para transporte, fatores estes que apresentam grande variação nos diversos eventos.

Figura 5. Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m3/s), no evento do dia 18/09/2000

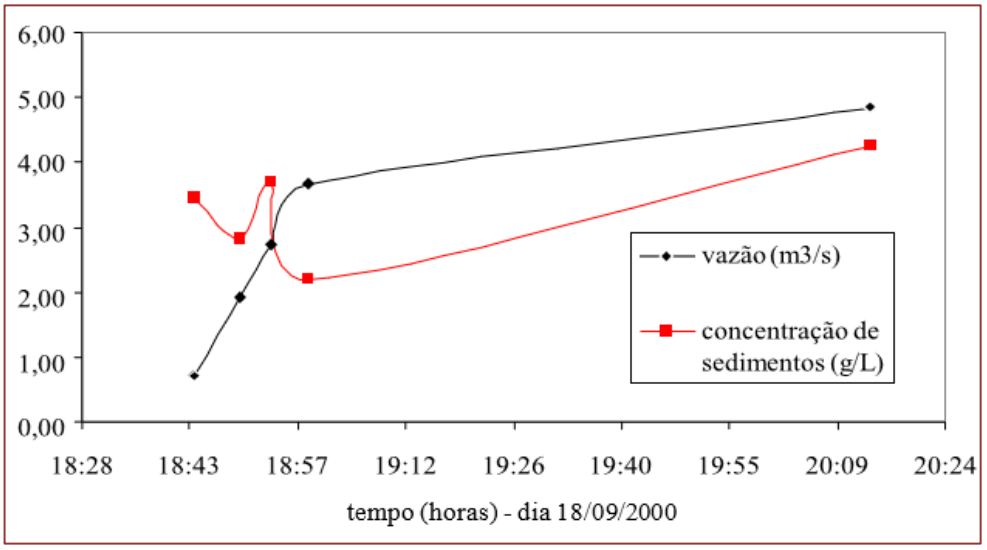


Figura 6. Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m3/s), no evento do dia 7/01/2001

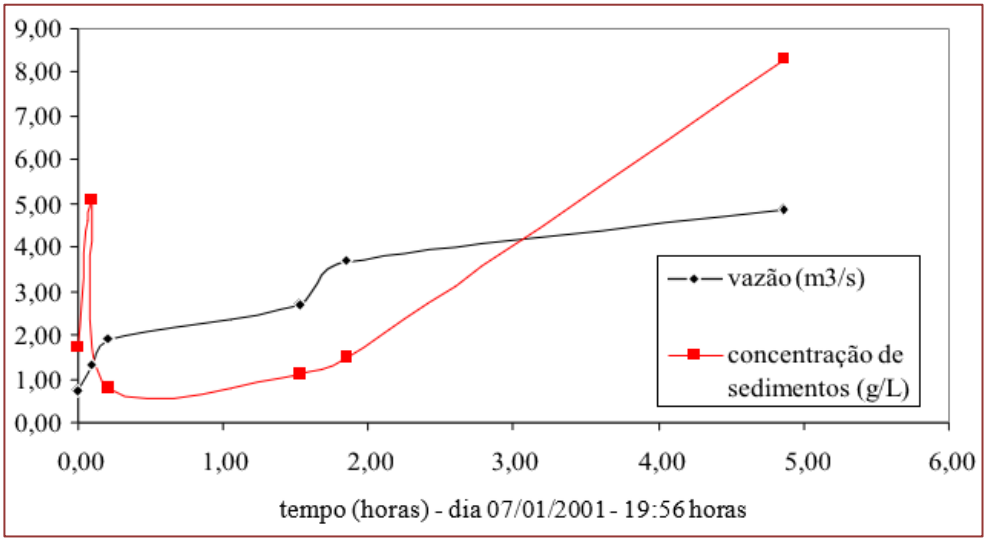


Figura 7. Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m3/s), no evento do dia 12/02/2001

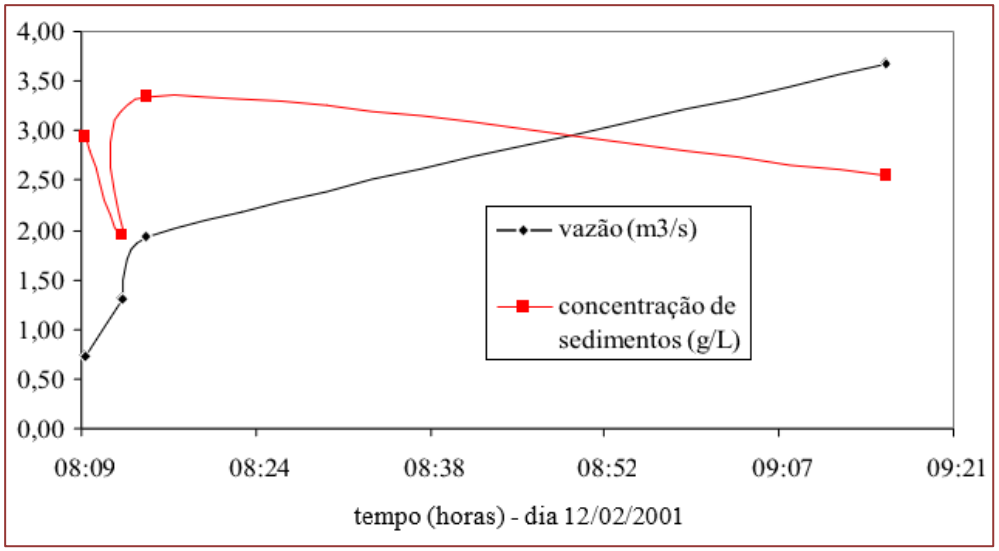
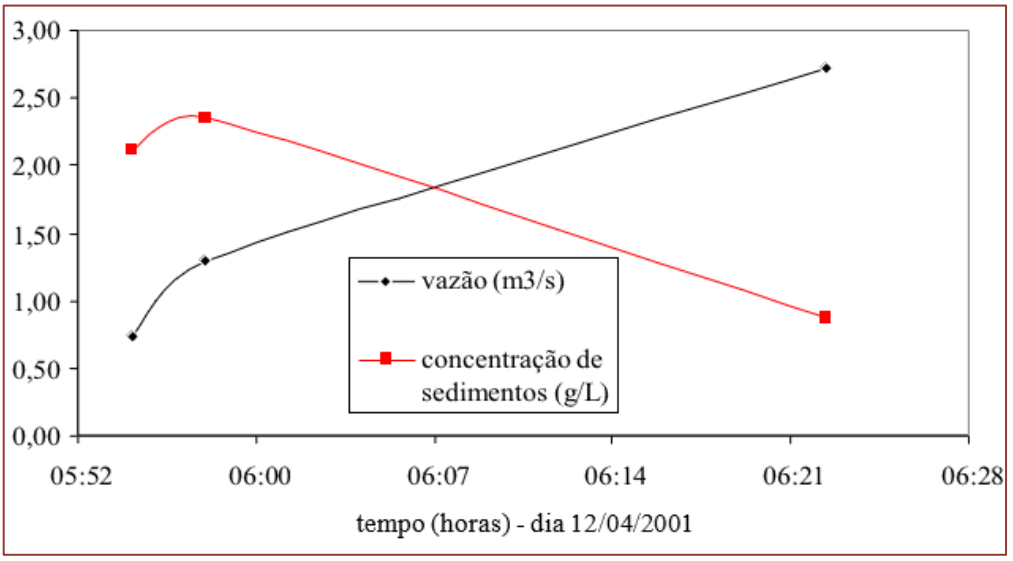


Figura 8. Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m3/s), no evento do dia 12/04/2001



A utilização de amostrador automático de nível ascendente apresentou algumas dificuldades operacionais na seção em estudo. Tais dificuldades estão relacionadas à utilização em bacia urbana, onde são lançadas grandes quantidades de detritos, que interferem no enchimento das garrafas de amostragem. Desta forma, ocorreram eventos emque alguma garrafa de amostragem intermediária não conseguiu coletar água devido a detritos retidos pelo próprio aparelho.

4.2. RESULTADOS OBTIDOS COM AMOSTRAGEM MANUAL

Os resultados de concentração de sedimentos na seção transversal, obtidos com amostrador AMS-1, em períodosde vazões sem escoamento superficial, mostraram que a concentração no centro é muito superior do que à concentração nas verticais próximas às margens. No entanto, com o crescimento das vazões, a concentração apresentou valores aproximadamente homogêneos nas verticais analisadas. Foi difícil comparar os resultados do amostrador automático com o amostrador manual devido à dificuldade de coleta simultânea. Desta forma, os resultados são comparados em conjunto.

As figuras 9, 10 e 11 apresentam gráficos da concentração de sedimentos em função da vazão para eventos de cheia, obtida com amostragem manual e integrada na seção transversal. Pode-se observar boa concordância entre vazão e concentração nas figuras 9 e 10. No gráfico da figura 11 observa-se um pico de concentração no início evento, efeito este observado com o amostrador automático. No início do evento chuvoso ocorre um pico de concentração devido à carga de lavagem das ruas, a partir do qual a concentração segue mantendo correlação direta com a vazão. Foi constado que o valor do pico de concentração é variável, provavelmente com o estado de umidade antecedente, e ocorre em um período de tempo bastante curto. No caso do gráfico da figura 11, o intervalo de tempo foi de 3 minutos e a concentração de sedimentos duplicou. Embora este valor seja importante não deve ter grande representatividade na avaliação da produção de sedimentos.

A figura 12 apresenta a relação entre a curva-chave de sedimentos, obtida em eventos de cheia com o amostrador manual AMS-1. Observa-se uma boa correlação entre estes valores, apesar de se ter incluído os picos da carga de lavagem. A figura 13 apresenta os pontos coletados de concentração e vazão com amostrador automático em conjunto com a curva de sedimentos ajustada com o amostrador manual. Pode-se observar que os dados do amostrador automático não apresentaram boa correlação com a vazão e seus valores são bastante superiores aos ajustados com o amostrador manual AMS-1. Nesta estação fluviométrica a concentração de sedimentos apresentou pequena variação nas verticais. No entanto, o amostrador manual integra na vertical, enquanto o amostrador automático coleta água no nível máximo. Desta forma, as respostas são diferentes. Além disto, sua localização é próxima às margens, onde pode haver acúmulo de detritos e material em suspensão.

Figura 9. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (g/L) e a vazão (m3/s) para o evento do dia 30/09/2001

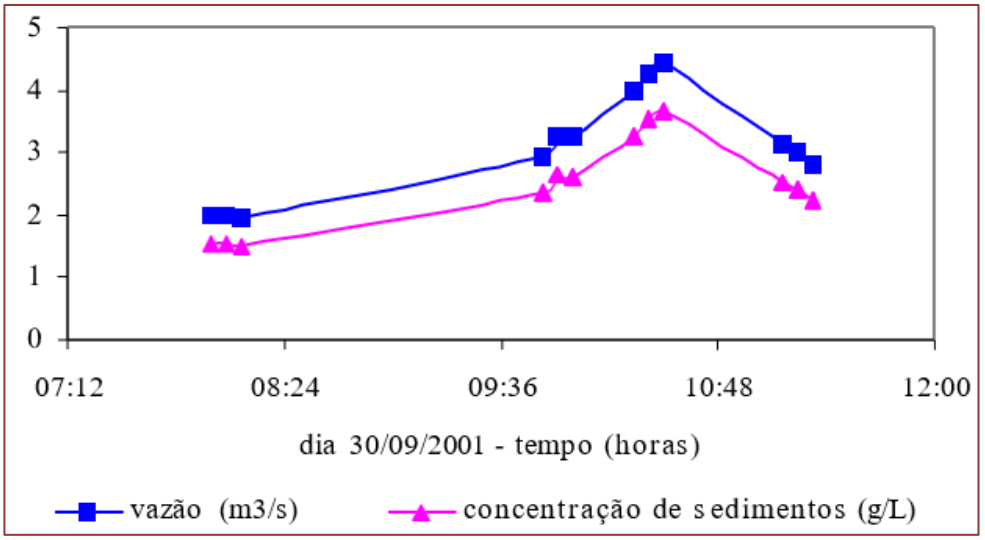


Figura 10. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (g/L) e a vazão (m3/s) para o evento do dia 07/11/2001

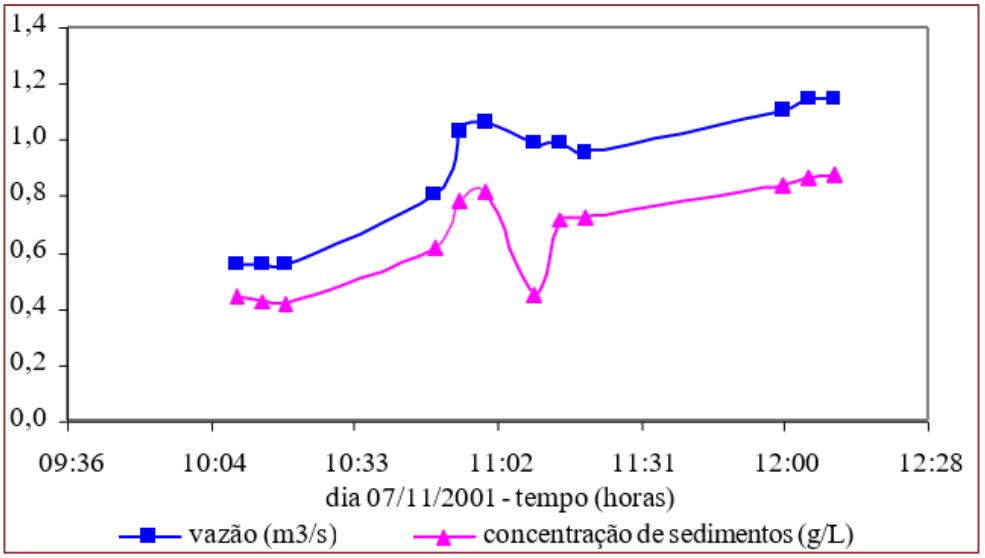


Figura 11. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (g/L) e a vazão (m3/s) para o evento do dia 11/03/2002

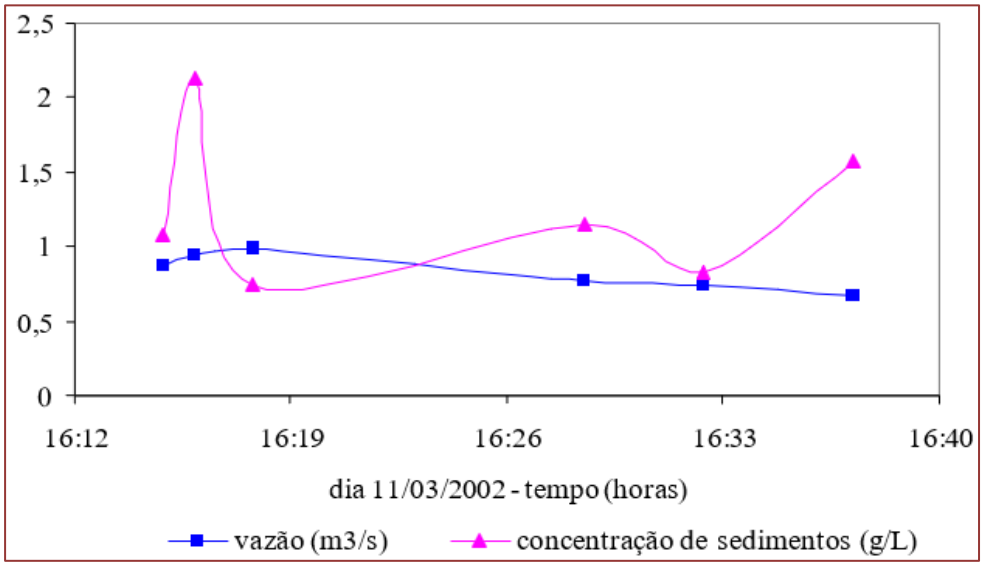


Figura 12. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a vazão

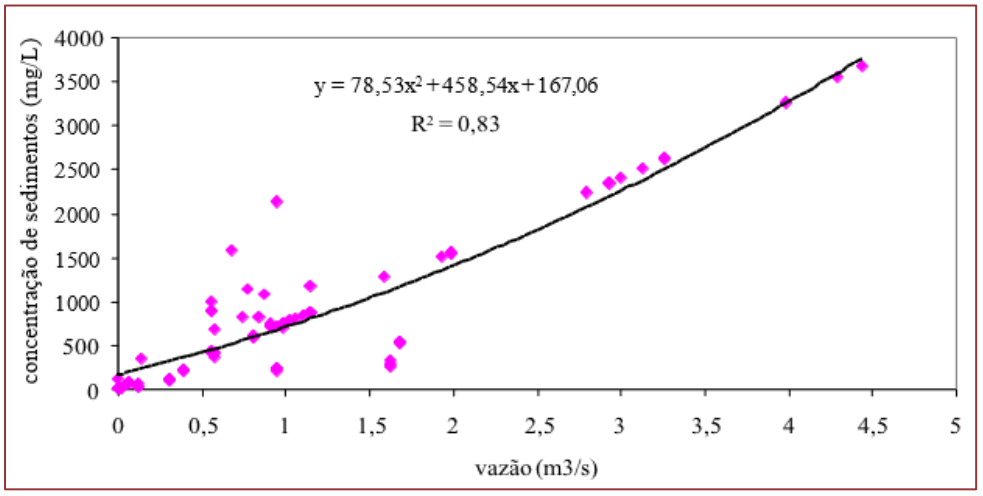
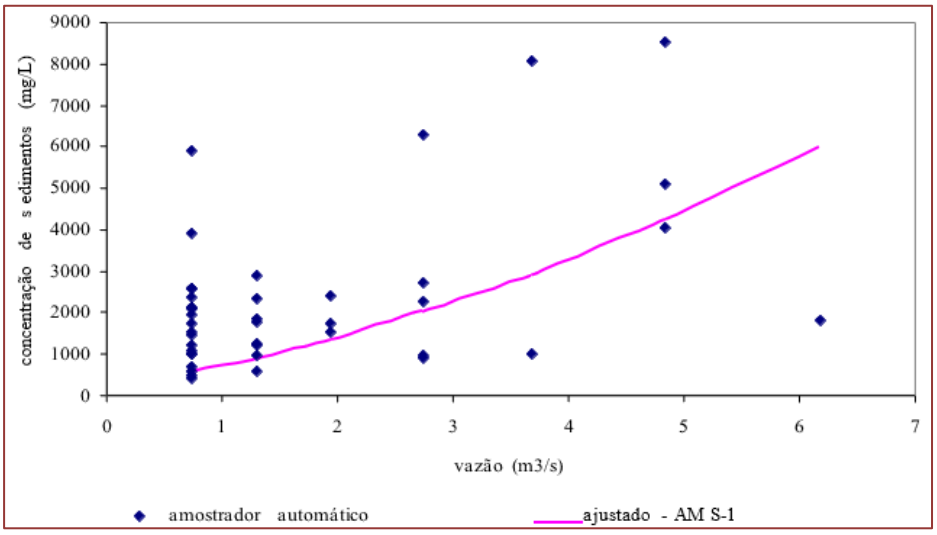


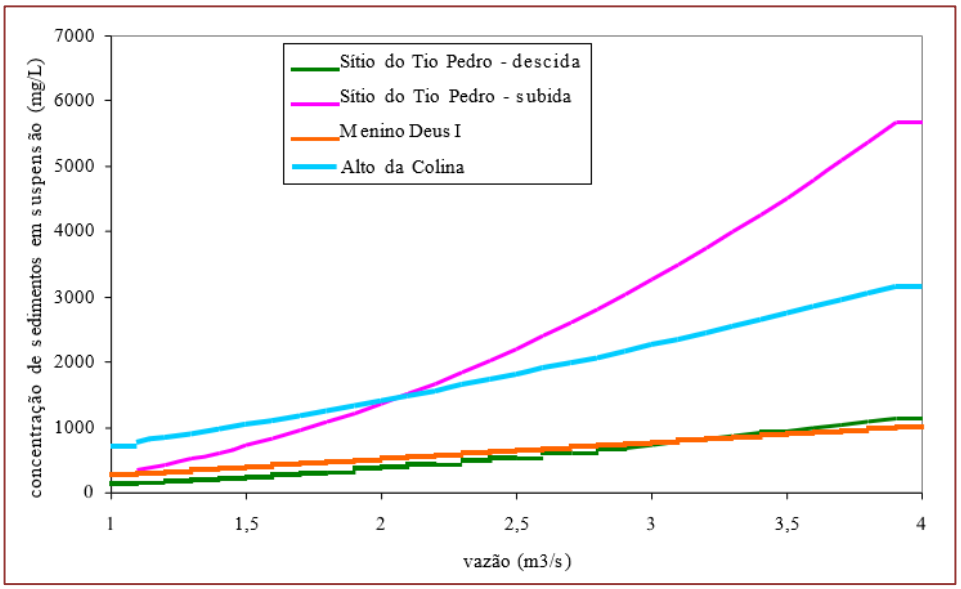
Figura 13. Relação entre concentração de sedimentos e vazão com amostrador automático e manual



5. COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTOS EM OUTRAS BACIAS DA REGIÃO

A figura 14 apresenta comparação entre a curva-chave de sedimento obtida na bacia Alto da Colina, e as curvas-chave obtidas em pequena bacia hidrográfica em urbanização de encosta, bacia hidrográfica Sítio do Tio Pedro [10] e a curva-chave obtida em bacia hidrográfica rural de encosta, bacia Menino Deus I [5], ambas na mesma região. Bellinaso e Paiva [10] apresentaram duas curvas-chave, uma para subida e outra para a descida da onda de cheia, obtida com amostrador manual AMS-1. A bacia Sítio do Tio Pedro tem características físicas semelhantes à bacia Alto da Colina, área de 0,53 km², porém apresenta grande declividade, 26,8%, valor bastante superior ao da bacia apresentada neste trabalho. Pode-se constatar uma declividade menor na curva de ajuste do Alto da Colina, que pode ser explicado pela menor declividade. Também se verifica uma significativa modificação das curvas de subida e descida da cheia, que pode ser explicado pela adição da carga de lavagem que deve ocorrer no início do evento. Este efeito não foi comentado por Bellinaso e Paiva [10], provavelmente pela dificuldade de observação, uma vez que as respostas desta bacia são extremamente rápidas. A bacia hidrográfica Menino Deus I possui área bastante superior, 18 km², declividade média de 22,6%, com vegetação predominante de mata nativa e plantada. Neste caso, observa-se valores de concentração de sedimentos bastante inferiores às duas bacias em urbanização e semelhante ao comportamento da curva de descida da bacia Sítio do Tio Pedro. Estes resultados indicam a influência da urbanização na produção de sedimentos de bacias hidrográficas.

Figura 14. Comparação entre curvas-chave de sedimentos de pequenas bacias

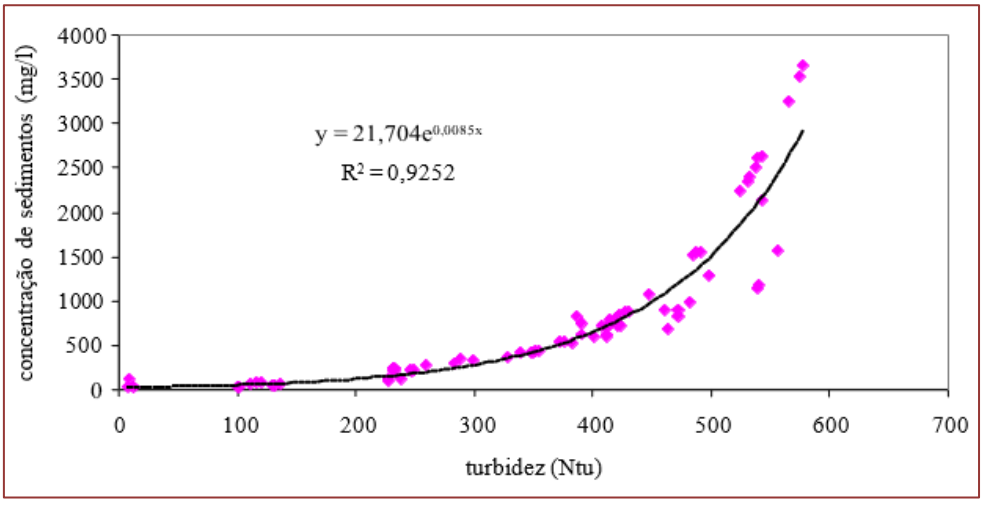


6. RELAÇÃO ENTRE A TURBIDEZ E A CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

Com respeito a turbidez, embora os resultados tenham apresentado boa correlação com a concentração de sedimentos, o ajuste é exponencial. Desta forma, para altas concentrações, que ocorrem durante as cheias, os erros de estimativa da concentração de sedimentos é crescente. Estas respostas também sofrem modificação com o tipo de partículas em suspensão, como é o caso de bacias urbanas, devido à carga de lavagem. Conforme Santos et al [11], as partículas finas possuem turbidez muito maior que as partículas grossas, desta forma a medida da turbidez é mais sensível à concentração de materiais finos e pouco sensíveis a areia. Em bacias rurais, dependendo da faixa de concentração de sedimentos, estas correlações podem ser adequadas, como o observado por Corso [12].

A figura 15 apresenta a relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos. Tais relações são extremamente importantes quando se utiliza sonda de turbidez para avaliar a produção de sedimentos. Os resultados observados apresentaram boa correlação. No entanto, como a lei de ajuste é exponencial, em altas concentrações o erro envolvido neste tipo de análise é bastante elevado. Desta forma, apesar da facilidade de avaliação da concentração de sedimentos de forma indireta, é preciso ter cautela e um adequado volume de dados de campo.

Figura 15. Relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos



7. CONCLUSÕES

Os dados de concentração de sedimentos coletados em eventos de cheia na Bacia Hidrográfica Alto do Colina permitiram concluir que:

- a concentração de sedimentos obtida com o amostrador de nível ascendente automático apresentou resultados mais elevados, comparados com os obtidos com amostrador manual AMS-1, por meio de amostras integradas na seção transversal;
- a concentração de sedimentos obtida com amostrador manual em eventos de cheia apresentou boa correlação com a vazão, permitindo a construção de curva-chave de vazão;
- no início dos eventos foram observados picos de concentração resultantes da carga de lavagem;
- a comparação da curva-chave de sedimentos desta bacia, que apresenta pequena declividade, com outra semelhante em área e cobertura, de grande declividade, mostrou resultados semelhantes, porém com declividade da curva-chave aumentada com o aumento da declividade;
- a comparação da curva-chave de sedimentos desta bacia, com outra de maior área e cobertura vegetal de mata nativa, mostrou a influência da urbanização no aumento da produção de sedimentos;
- a turbidez apresentou boa correlação com a concentração de sedimentos, com ajuste exponencial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e FAPERGS, pelo auxílio financeiro e bolsas recebidas e à FINEP pelo auxílio concedido através do projeto de Redes Cooperativas de Pesquisa (REHIDRO/RECOPE). Ao técnico Alcides Sartori e aos bolsistas de iniciação científica Fabrício Almeida dos Santos e Francisco Rossarolla Forgiarini, pelo auxílio

na coleta de dados de campo.

REFERÊNCIAS

[1] RAMOS,C.L. Erosão urbana e produção de sedimentos. In: TUCCI,C.E.M.; PORTO,R.L.; BARROS,M.T. Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995, Cap.2, p.241-275.

[2] MATOS,J.S.; DAVID,L.M.; PAVÃO,L. Qualidade de escorrências pluviais em zonas urbanas e impacte em meios receptores. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8, 1998, João Pessoa. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 1998, v.2, p.334-347.

[3] GOMES,L.A.; CHAUDHRY,F.H. Aspectos qualitativos das águas pluviais urbanas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11, 1981, Fortaleza.

[4] DE LUCA,S.J.; MILANO,L.B.; IDE,C.N. Rain and urban stormwater quality. Wat. Sci. Tech. Kyoto, v.23, pp.133- 140, 1991.

[5] BRANCO,N.; PAIVA,J.B.D.; PAIVA,E.M.C.D. Produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Arroio Vacacaí Mirim – Avaliação Preliminar. In: CONGRESO NACIONAL DEL AGUA, 17, SIMPOSIO DE RECURSOS HIDRICOS DEL CONOSUR, 2, 1998, Santa Fé, Argentina. Anais. Santa Fé, 1998, v.3, p.444-451.

[6] PAIVA,E.M.C.D.; PAIVA,J.B.D.; PARANHOS,R.M. Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais. IV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos. Santa Maria: ABRH/UFSM, 2001, v.1, p.35-51.

[7] UMEZAWA,P.K. Previsão de deplúvio (washload) em rios de áreas elevadas. Porto Alegre – RS. 217p. (Dissertação de mestrado) – Curso de Pós-graduação em Hidrologia Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1979.

[8] SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION. Inter-Agency Committee on Water Resources. Determination of fluvial sediment discharge. Minneapolis: Saint Anthony Falls Hydraulic Lab. 1963. Report no 6.

[9] TASK COMMITTEE ON PREPARATION OF SEDIMENTATION MANUAL. Sediment measurement techniques: F. :Laboratory procedures. Journal of the Hydraulics Division, New York, v.95, n.5, p.1515-1543, 1969.

[10] BELLINASO, T.B.; PAIVA, J.B.D. Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi urbana de encosta. . In: REUNIÃO FINAL DA REHIDRO, 2002, Vitória. Rede Cooperativa de Recursos Hídricos. São Carlos, SP: FINEP, 2002.

[11] SANTOS, I et al. Hidrometria Aplicada. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001, 372p.

[12] CORSO,J. Estimativa da produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Arroio Itaquarinchim, Santo Ângelo, RS, a partir de medições de turbidez da água. Santa Maria – RS. 70p. (Dissertação de Mestrado) – Curso de Pós- Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 1989.

Capítulo 3

Estudo experimental sobre a formação de poluentes em chamas pré-misturadas

Lucas Ruan Santos Oliveira
Fernando Lima de Oliveira
Flávio Nunes Pereira
Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho
Claudia Rosa do Espírito Santo Nóbrega
Ricardo Yvan de La Cruz Cueva

Resumo: Atualmente, um dos principais motivos pelo qual ainda muito se faz o uso de combustíveis fósseis é em função do seu alto poder calorífico, frente às outras fontes de energias alternativas. Pórem, o uso dessas fontes de energia convencionais provoca a redução da camada de ozônio, a chuva ácida e ainda contribuem com o aquecimento global; concomitantemente a esse efeito, existe ainda uma demanda crescente de energia para os processos industriais. Neste caso, é relevante a otimização de processos que minimizem as emissões destes poluentes aliado com baixos custos de investimentos operaiconais. Diante disto, o estudo de chamas pré-misturadas vem exatamente de encontro a estes interesses, visto que a maioria dos processos industriais usam chamas difusivas e estas causam muitos impactos ambientais negativos devido a maior quantidade da emissão de poluentes a partir dos processos industriais. Neste contexto, esta pesquisa buscou diagnosticar e mostrar as potenciais vantagens de sistemas que usam chamas pré-misturadas em relação as chamas difusivas. A pesquisa foi conduzida de forma experimental a fim de analisar e detectar o comportamento das chamas e dos parâmetros que podem promover a redução da emissão de poluentes. Ainda foi realizado comparações das temperaturas entre uma chama pré-misturada e uma chama difusiva. O equipamento utilizado foi um queimador do tipo Bico de Bunsen o qual foi estrategicamente adaptado na bancada experimental. O combustível utilizado foi o gás liquefeito de petróleo (GLP). Neste queimador foi adaptada uma válvula que regulava a entrada de ar atmosférico. Durante o experimento foi definido os parâmetros de vazão mássica para as análises iniciais. Após os experimentos foi observado e realizado comparações do comportamento das características das chamas e das variações das tempreraturas axial e radial para os dois tipos de chamas. Pode-se concluir que as chamas pré-misturadas, a partir das análises das visualizações de perfil da chama e de suas temperatuas apresentaram comportamentos que apontam para a redução da emissão de fuligem. Além disto, a pesquisa permitiu definir e estabelecer condições operacionais que possibilitam a melhoria das taxas de misturas entre os regentes nas reações de combustão e da qual geram chamas de menor potencial de emissão de poluentes em processos industriais.

Palavras-chave: Chamas pré-misturadas. Poluentes. Temperaturas. Bico de Bunsen.

1. INTRODUÇÃO

De maneira geral os recursos não renováveis como os combustíveis fósseis, ainda são muito utilizados na indústria, pois, tem sido um fator significativo na aceleração industrial e ainda para a contribuição no desenvolvimento econômico acerca de toda a história e sua civilização, mais especificamente por mais de um século durante toda a sociedade. E mesmo havendo a existência de inúmeras fontes de energia alternativa limpa, a utilização das utilizações de fontes não renováveis se dá, pois, uma das principais razões pelas quais ainda se faz o uso de combustíveis fósseis é em função ao seu do alto poder calorífico, e de produção, em comparação às outras fontes de energia alternativa. Consequentemente o uso dessas fontes de energia convencionais provoca impactos ambientais como a redução da camada de ozônio e outros fatores que impacatam o meio ambiente (IBGE, 2015).

Ao longo do tempo, pesquisas tem demonstrado que a combustão pré-misturada otimiza a reação química e aumenta a eficiência térmica, promovendo a redução dos contaminantes lançados na atmosfera e consequentemente minimizando os impactos ambientais.

Especificamente, as chamas podem ser subdivididas em dois grandes grupos: chamas difusivas e pré-misturadas. A principal característica das chamas difusivas é a queima do combustível à medida que este entra em contato com o oxidante, em geral o ar atmosférico. As chamas pré-misturadas consistem em sistemas nos quais, segundo sua própria denominação, combustível e comburente se misturam previamente (LAVACA, 2003).

1.1. COMBUSTÃO COM CHAMAS PRÉ–MISTURADAS

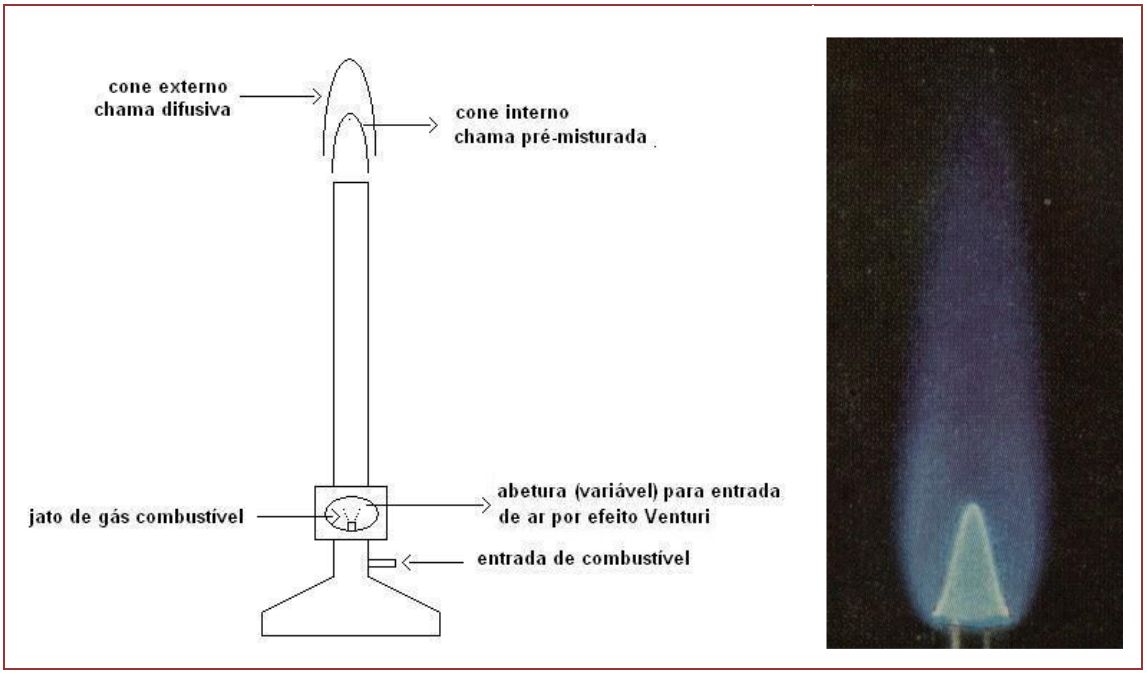
Conforme mencionado as chamas pré-misturadas são definidas como sendo a situação de combustão onde os reagentes (combustível e oxidante) são previamente misturados antes de atingirem a zona de reação (Turns, 2000).

Dentre alguns exemplos práticos de chamas pré–misturadas, podemos citar o motor Otto, maçaricos, fogões domésticos e industriais e o queimador tipo Bico de Bunsen utilizado em laboratórios. As chamas pré-misturadas possuem a vantagem de facilmente conseguirem alcançar o processo de combustão completa, com menor emissão de fuligem e produtos de combustão de oxidação parcial, como o monóxido de carbono ou hidrocarbonetos não queimados. Por outro lado, são chamas que transferem pouco calor por radiação, justamente pela baixa presença de fuligem (WILLIAMS,1985).

Na prática, podem-se obter em um mesmo dispositivo chamas pré-misturadas e difusivas. Um exemplo disso é o queimador tipo Bico de Bunsen, representado na Figura 1. Neste dispositivo, o jato de gás carreia o ar pela abertura na base do tubo, através do chamado efeito Venturi, e os dois se misturam durante o trajeto até a saída. O cone interno luminoso formado na saída do bico de Bunsen é a chama pré-misturada de uma combustão rica.

Além disto, este é um instrumento do qual um jato de combustível na base induz um fluxo de ar através da porta de área variável e a mistura de ar e combustível à medida que sobem pelo tubo. A chama típica do queimador de Bunsen é uma chama dupla: uma chama interna pré-misturada rica em combustível, cercada por uma chama de difusão. (DONATTI, 2019).

Figura 1. Representação e ilustração da chama de um queimador bico de Bunsen



Fonte: Lacava, 2002

Os produtos dessa combustão ainda contêm componentes a serem oxidados, que podem reagir com ar ambiente. Desta forma, o cone externo luminoso formado é o resultado de uma segunda zona de combustão, onde há formação de uma chama difusiva envolvendo os produtos de combustão da chama pré-misturada e o ar ambiente. No caso do bico de Bunsen, a pré-mistura pode ser controlada pela área que permite a entrada do ar carreado minimamente distante de tubo (Turns, 2000).

Neste contexto, para um melhor entendimento dos fenômenos envolvidos será mostrado, neste trabalho, como a combustão de chama pré-misturada pode mudar a estrutura de uma chama criando na região de alta formação de fuligem condições favoráveis para reduzir sua formação e aumentar a taxa de oxidação da fuligem formada. Além disto, a pesquisa objetiva apresentar de forma experimental sobre a variação da temperatura e a emissão de poluentes (fuligem) em chamas pré-misturadas laminares e comparar com resultados de chamas difusivas.

2. METODOLOGIA

Conforme mencionado, neste trabalho ocorrerá as análises e comparação dos campos de temperatura entre as chamas pré-misturadas com as chamas difusivas. O equipamento utilizado será um queimador do tipo bico de Bunsen. O combustível utilizado foi o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

Também foi utilizado um sensor de temperatura (Termopar), um sistema de aquisição de dados (FieldLogger). De forma geral, a seguir estão detalhadas as etapas de execução do projeto.

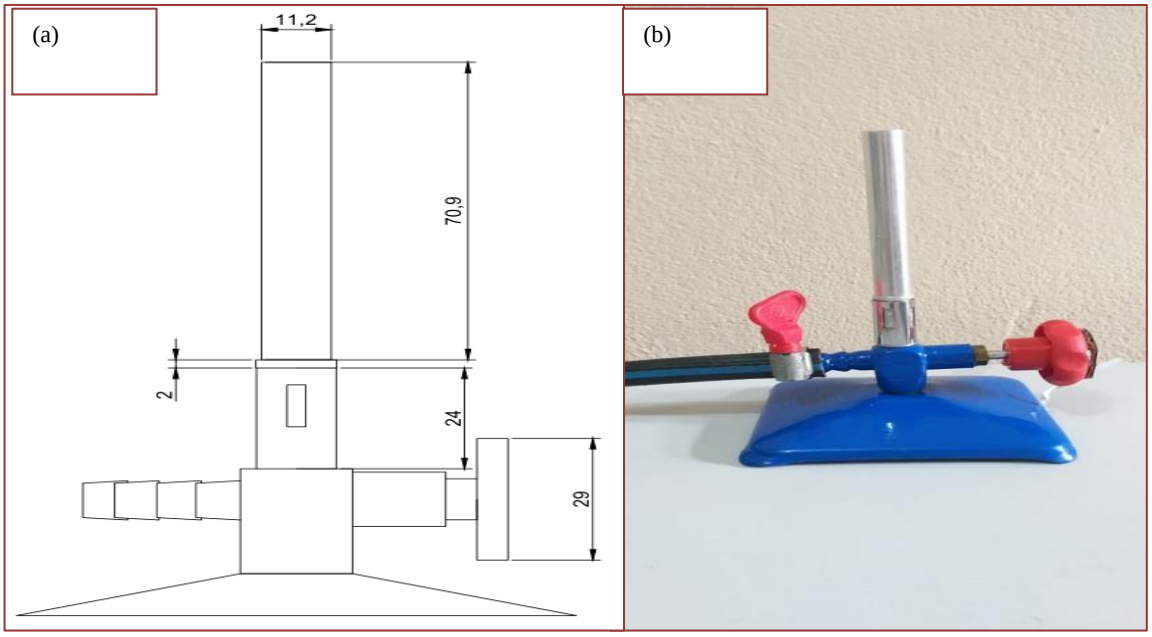
2.1. CONSTRUÇÃO DE BANCADA

O equipamento principal adquirido para o processo inicial da pesquisa foi um queimador tipo Bico de Bunsen (Figura 2).

O queimador possui diâmetro externo de 11,2 mm e interno de 11 mm, tamanho que permite a injeção do gás dentro do corpo do queimador. Além deste, foi adquirido posteriormente um rotâmetro para medir o consumo de gás em determinados intervalos de tempo, além de outros acessórios como mangueiras para escoamento do gás.

A escolha pela utilização de um queimador tipo bico de Bunsen foi devido o mesmo permitir num único queimador a análise de uma chama difusiva, pré-misturada e parcialmente pré-misturada; além disto, o mesmo facilita a montagem para medições de vazão mássicas do gás combustível.

Figura 2. Bico de Bunsen: (a) em CAD (dimensões em mm). (b) no experimento



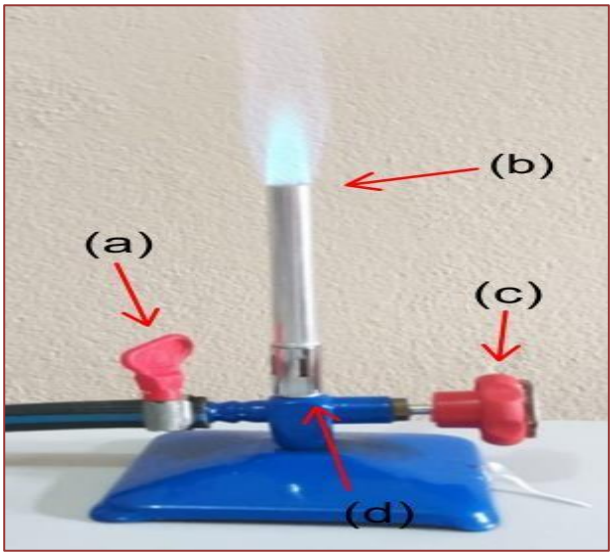
Fonte: Os autores (2021).

Conforme mostra a Figura 3, neste tipo de queimador é possivel se obter uma chama pré-misturada.

O sistema possui um sistema de alimentação GLP e uma regulagem de entrada de ar que está parcialmente aberta no momento. Há também uma válvula de admissão de gás GLP que durante a execução do projeto foi graduada (sendo esse também um parâmetro) para que a obtenção de dados de vazão mássica fosse mais precisa.

Ainda na Figura 3 observa-se que em: **a)** está a entrada de gás GLP que é direcionado através de uma mangueira; em: **b)** Saída da chama com a sua característica específica; em: **c)** válvula reguladora (graduada), em: **d)** a regulagem de entrada de ar.

Figura 3. Queimador (Bico de Bunsen): a) entrada de gás GLP. b) Saída da chama. c) válvula reguladora (graduada). d) regulagem de entrada de ar



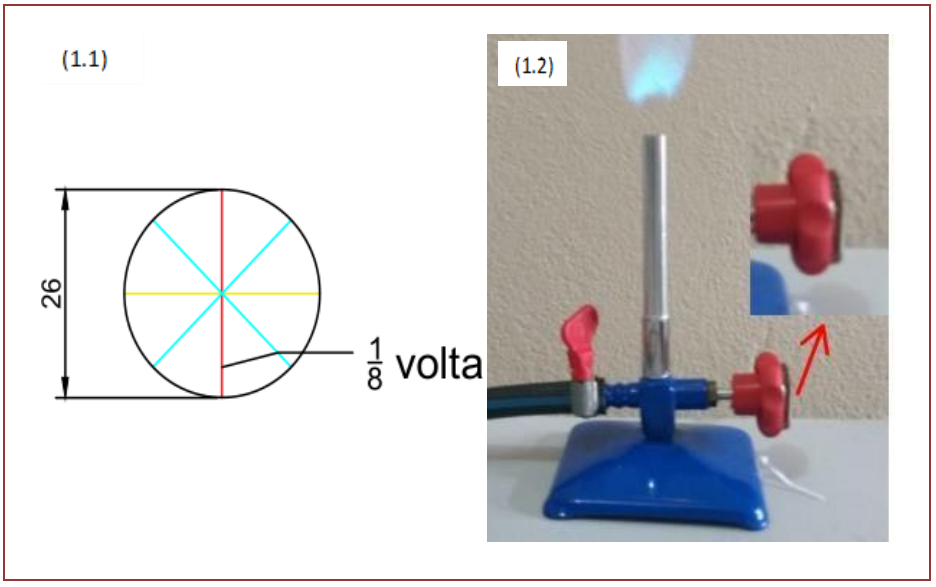
Fonte: Os autores (2021).

2.2. CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E ESTRUTURA FINAL

Para a calibração das medidas de voltas realizadas na válvula de admissão de gás GLP foi necessária uma adaptação de um mecanismo no próprio bico adicionando uma graduação dividida em 8 partes,ou seja, 1/8 de volta para cada (Figura 4).

Logo, a partir da adição desse parâmetro na válvula presente no bico de Bunsen, tem-seuma melhor garantia da precisão na escolha de todos os parâmetros para o procedimento. Pois durante todo o procedimento, repetidas vezes tem que se voltar a uma determinada posição naabertura de válvula.

Figura 4. Graduação para válvula de gás GLP: (1.1) graduação (dimensão do diâmetro em mm). (1.2) Localização da graduação inserida na válvula



Fonte: Os autores (2021).

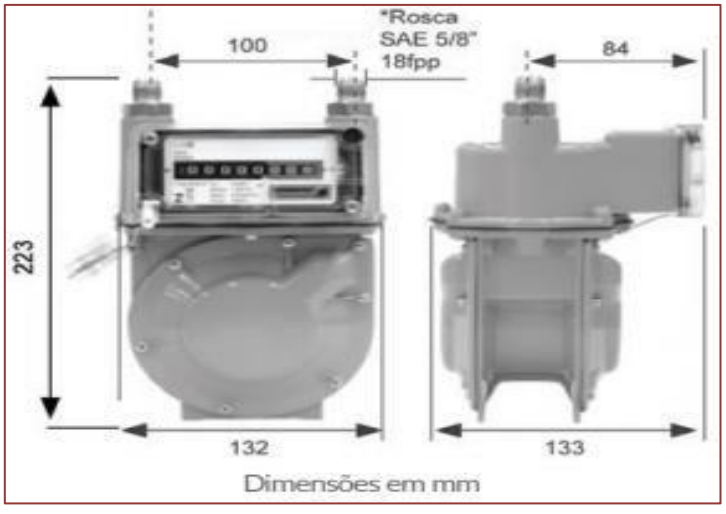
A Figura 5 mostra o termopar do tipo K, com diâmetro de 1.4 mm, feito de alumel e cromel, e consegue determinar variação de temperatura entre -270°C a 1370ºC. Ele é posicionado no sistema de deslocamento e conectado a FieldLogger, que faz a leitura da diferença de potencial que é diretamente proporcional a diferença de temperatura.

Figura 5. Termopar tipo K

Fonte: Os autores (2021).

Para realização do procedimento de medição da vazão foi utilizado o medidor de vazão da fabricante LAO, modelo G1 (Figura 6). O medidor de vazão e seu funcionamento se dá pelo enchimento dos canais comunicantes localizado entre quatro câmeras internamente e ao serem preenchidas movimentam os diagramas que coordenam a carga e descarga do sistema, acionando a válvularotativa de movimento do sistema de integração (LAO, 2019).

Figura 6. Medidor de Vazão (Rotâmetro)

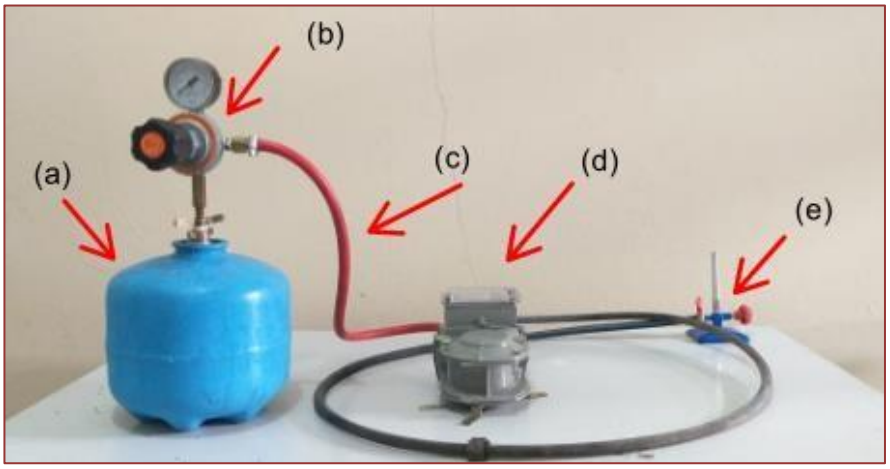


Fonte: Lao (2017).

A disposição do sistema de alimentação do queimador é composta por um botijão P2 de 2kg de gás GLP. Conectado ao botijão existe uma válvula reguladora de pressão com ajuste

de escala monométrica de 0 a 7 kgf/cm^2 e um manômetro. Estes possuem incerteza de ± 5% e são calibrados para metano (condições normais de pressão e temperatura). Na saída da válvula reguladora foi instalado o medidor de vazão em serie com o sistema de alimentação de gás GLP. Assim na Figura 7 mostra a montagem (disposição em que se encontram) o sistema.

Figura 7. Disposição do sistema: a) cilindro gás GLP 2kg-P2. b) válvula reguladora de pressão. c) conexão flexível 3/8". d) medidor de vazão. e) bico de Bunsen



Fonte: Os autores (2021).

Na Figura 8, temos em detalhe uma das entradas de ar, em que a entrada é correspondente a uma área de 0,25cm^2. Ao todo há 4 aberturas, logo ao se abrir completamente a abertura de ar, temos uma área correspondente a aproximadamente 1cm^2.

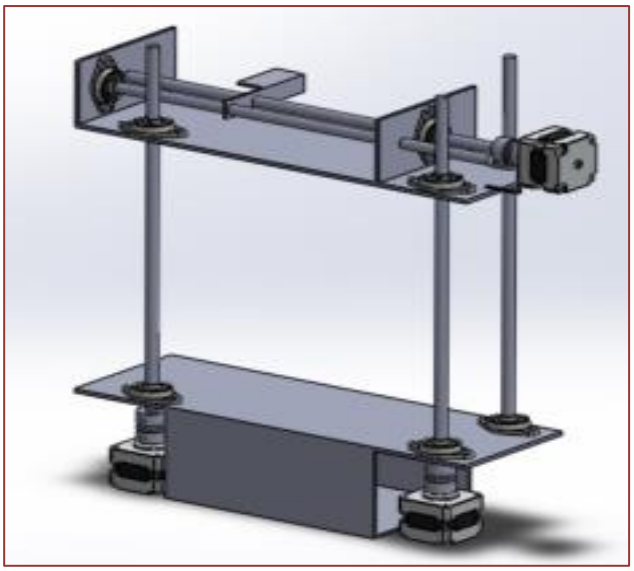
Figura 8. Entrada de ar em detalhe

Fonte: Os autores (2021).

Para realizar as aferições da temperatura foi necessário a utilização do equipamento (Figura 9) que deslocasse o termopar nas direções verticais e horizontais (para medição radial e axial). Também foi realizada a adaptação para o novo queimador, pois pelo tipo

de termopar a aquisição dos campos de temperatura se torna mais preciso se o deslocamento fosse em um maior intervalo de tempo, e consequentemente uma menor variação de movimento, seja axialmente ou radialmente.

Figura 9. Sistema de deslocamento para termopar



Fonte: Os autores (2021).

2.3. CONDIÇÕES DE TRABALHOS EXPERIMENTAIS

Nessa etapa foram definidos os parâmetros de: a) pressão; b) consumo; e c) Fração de voltas dadas na válvula graduada.

A partir da combinação destes parâmetros serão determinados as condições para o trabalho experimental, ou seja: a vazão mássica e quais as são as melhores condições de chama previstas.

Incialmente foram realizados os cálculos de vazão volumétrica, que foram obtidos combase em médias de várias aquisições de dados a partir de vários intervalos de tempos, como exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1. Aquisição de Dados para pressão de 0,25kgf/cm² e abertura de 1/8 de válvula

Volume Inicial (m^3)	Volume Final (m^3)	Consumo (m^3)	Consumo médio (m^3)	Tempo (s)	Tempo médio (s)	Vazão Vol. m^3/s
1,1162	1,117	0,0008		61,77		
1,1117	1,1184	0,0067		61,61		
1,1184	1,1194	0,001		60,36		
1,1194	1,1206	0,0012	0,001814286	60	61,7	2,9405E-05
1,1206	1,1216	0,001		60,46		
1,1216	1,1226	0,001		61,84		
1,1226	1,1236	0,001		65,86		

Fonte: Os autores (2021).

A partir da aquisição de dados, e inserindo-as em tabelas, com cálculos pré-programados como exemplificada na Tabela 1 obtém-se os valores de vazão volumétrica para os 5 condições estabelecidas.

Estes casos se diferenciam pela variação de parâmetros a partir disso foi possível determinar a vazão mássica nas determinadas condições e a visualização correspondente da chama.

Assim para encontrar os valores respectivos de vazão mássica temos que utilizar a fórmula básica em que multiplicamos a vazão volumétrica pelo fluido pela densidade do fluido(2,5kg/m^3), que no caso é a densidade média do gás GLP.

A partir desta metodologia pretende-se fazer uma comparação entre os valores de vazão mássica e possíveis mudanças que vão ser analisados a partir das condições experimentais estabelecidas (Tabela 2).

Tabela 2. Aquisicão de dados de vazão mássica

Situação	Pressão	Válvula	Vazão Mássica g/s
1	0,25 kgf/cm^2	1/8 Volta	0,073512387
2	0,50 kgf/cm^2	1/8 Volta	0,121578828
3	0,50 kgf/cm^2	1/4 Volta	0,157052792
4	2 kgf/cm^2	1/8 Volta	0,049808514
5	0,25 kgf/cm^2	1 Volta	0,163452109

Fonte: Os autores (2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A realização desta pesquisa buscou de forma experimental mostrar como ocorreu a a variação da temperatura e a emissão de poluentes em chamas pré-misturadas laminares fazendo a sua comparação chamas difusivas.

Neste caso, o aparelho utilizado, o bico de Bunsen, produziu chamas laminares pré-misturadas capaz de verificar esta análise conforme será mostrado a seguir.

Conforme mencionado foram adotados os procedimentos metodologicos para realização das adequações, definição de parametros e realização dos ensaios. Todos os procedimentos adotados visaara, exatamente melhorar o entendimento dos fenômenos envolvidos quando se usa uma combustão num queimador a partir de uma chama pré-misturada.

O foco foi entender como ocorrem as mudanças na estrutura de uma chama pré-mistura criando (na região de alta formação de fuligem) condições favoráveis para reduzir sua formação e aumentar a taxa de oxidação da fuligem formada.

As análises realizadas foram embasadas os estudos pré-existentes de trabalhos usando chamas pré-misturadas, conforme trabalhos de Lacava (2002), Oliveira (2007), Donatti (2019) e outros.

Para maior aprofundamento do estudo e comprovação visual e de parâmetros foram adquiridos equipamentos e acessórios para essa etapa inicial, e assim dar início a análise. Essa verificação inicial das características do comportamento de uma chama pré-misturada foi definido a partir dos parâmetros da operação sendo um dos principais deles

a vazão mássica. Também foi possível realizar uma análise visual do comportamento da chama em determinadas condições e assim comprovar a teoria.

Além disso, foram realizadas as análises dos campos de temperatura, medindo o campo de temperaturas (radial [eixo X] e axial [Eixo Y]) em chamas pré-misturadas comparando com os resultados com os obtidos de chamas difusivas.

E assim, fundamentado nas revisões bibliográficas e na visualização das chamas durante os testes experimentais é possível determinar a comparação de emissão de fuligem para cada um dos casos de pressão e abertura de válvula.

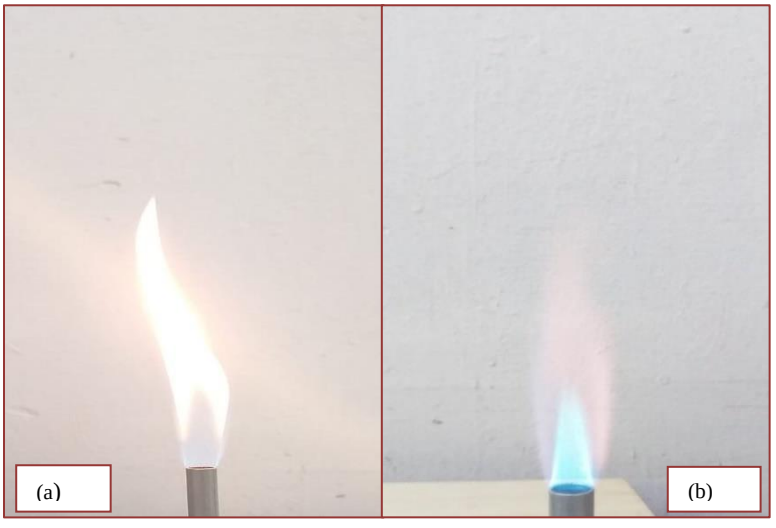
3.1. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Conforme mencionado anteriormente, o procedimento foi realizado da seguinte forma: A partir das variações dos parâmetros da válvula e da pressão foram obtidas determinadas vazões mássicas (Tabela 2) e algumas análises a partir dos resultados.

Com as mesmas condições e parâmetros operacionais foram realizados os testes para as chamas difusivas e pré-misturadas, e posteriormente foram feitas as comparações e análises para verificar as diferenças e vantagens entre as chamas em ambas as condições.

Deste modo, inicialmente na Figura 10 é mostrada uma situação em que a pressão foi mantida em 0,25kgf/cm^2 com abertura de válvula em 1/8 de volta, ou seja, isto corresponde à situação 1 presente na tabela 2. Para esta condição tem-se como resultado uma vazão mássica de **0,073 g/s**. Sendo que na figura 10(a) temos para uma chama difusiva e para a figura 10(b) temos a chama pré-misturada. Para esse primeiro caso com esses parâmetros específicos temos uma abertura total de entrada de ar, ou seja, uma área de 1cm^2 de entrada de ar.

Figura 10. Comparação para as chamas: (a) Difusiva. (b) Pré-Misturada



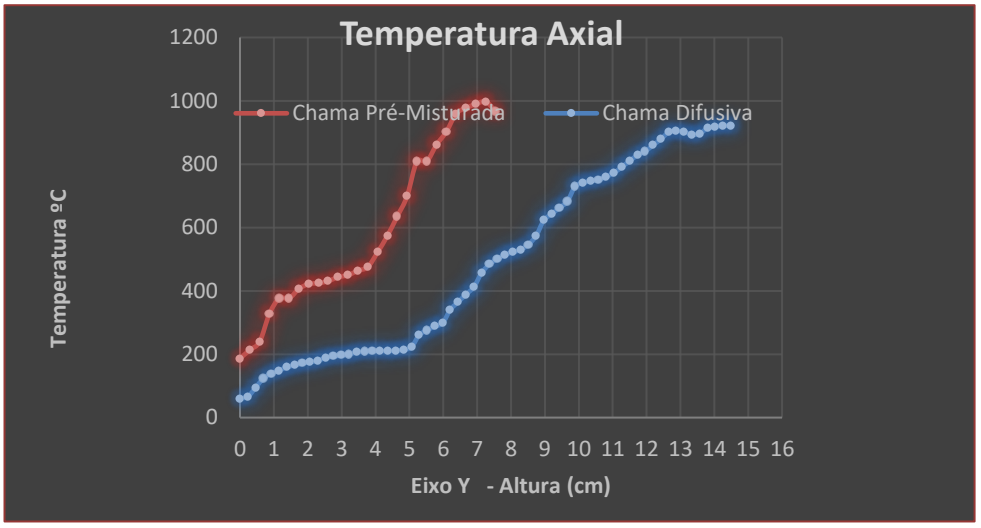
Fonte: Os autores (2021).

A aquisição de dados para os campos de temperatura na condição radial ocorreu como o termopar posicionando o termopar a 3 mm da montante do queimador. Já para a medida

das temperaturua na aquisição axial o queimador o termopar foi se movimentando ao longo da altura da chama com o termopar sempre no centro da chama.

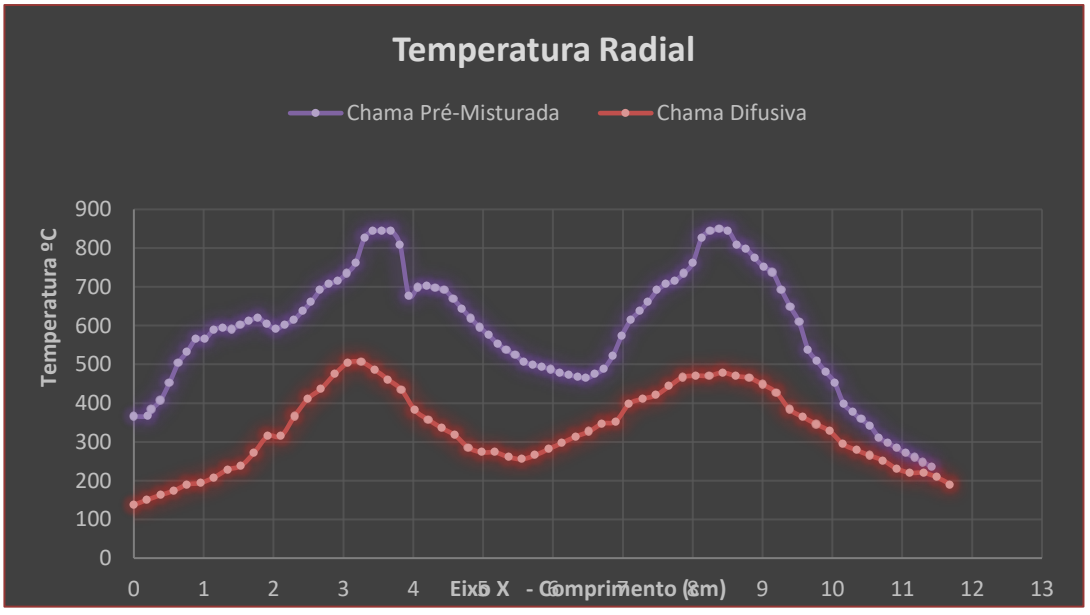
Na Figura 11 é mostrado as comparações do campo de temperatura axial para a chama pré-misturada e a chama difusiva. Sendo que na chama pré-misturada a altura média correspondente encontrada foi de 77 mm e na difusiva de 147 mm.

Figura 11. Campos de temperatura axial em chamas difusivas e pré-misturadas



Fonte: Os autores (2021).

Figura 12. Campos de temperatura radial em chamas difusivas e pré-misturadas



Fonte: Os autores (2021).

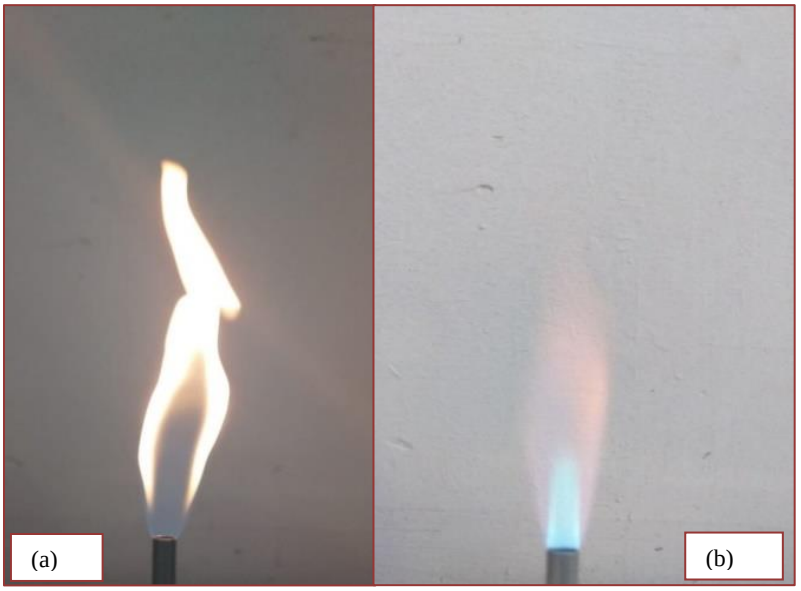
Conforme Figura 12 acima percebe-se a variação de temperatura entre ambas as chamas para o perfil radial de temperatura. Os resultados mostram que para as chamas pré-

misturadas as temperaturas são mais elevadas na saída do queimador. Os resultados foram obtidos com termopar tipo K de junta exposta. Observa-e que para planos mais distantes da saída do queimador, a temperatura no lado interno da chama tende a aumentar, em razão da maior presença de produtos de combustão nesta região. Estes resultados podem ser vistos em trabalhos de Lacava (2002) e Rocha (2006).

Na Figura 13 é mostrada uma situação 2 da Tabela 2, e assim obtendo-se um resultado de vazão mássica igual a **0,121 g/s.** Para essas características específicas há uma abertura total de entrada de ar, ou seja, uma área de 1cm^2 de entrada de ar. Nestas condições a chama ainda se manteve estável.

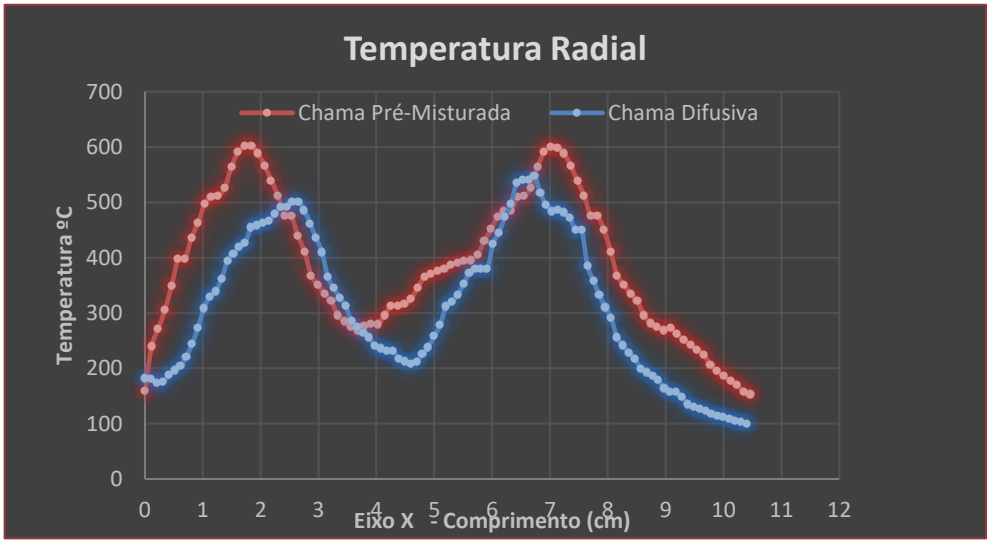
Nas Figuras 14 e 15 são mostradas a comparação para os campos de temperatura radial e axial respectivamente para esse determinado parâmetro.

Figura 13. Comparação para as chamas: (a) Difusiva. (b) Pré-Misturada



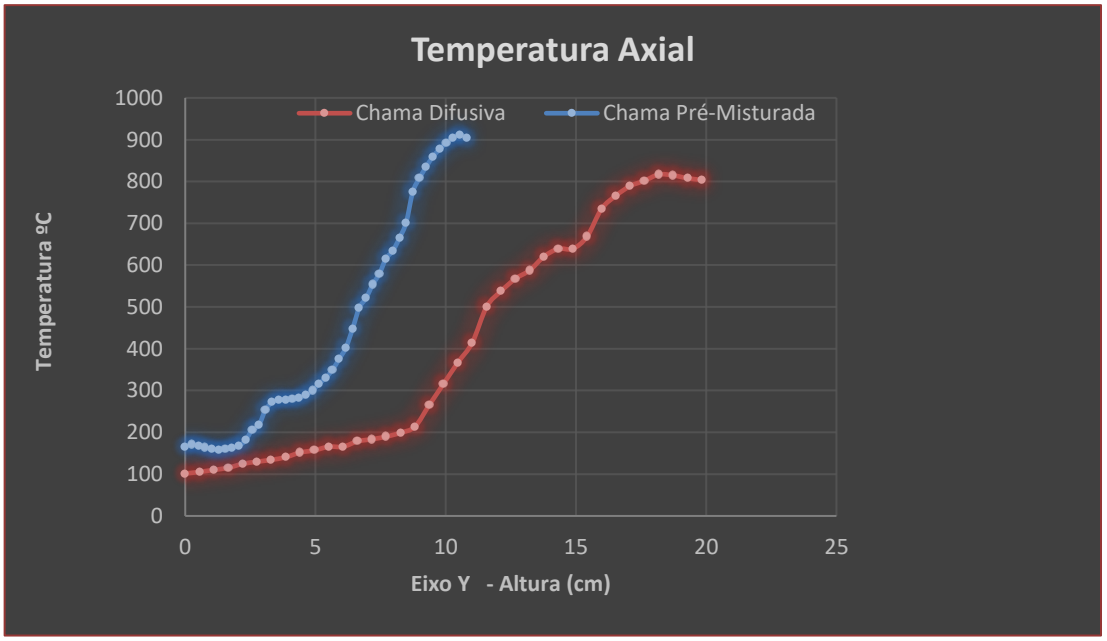
Fonte: Os autores (2021).

Figura 14. Campos de temperatura radial para chama difusiva e pré-misturada



Fonte: Os autores (2021).

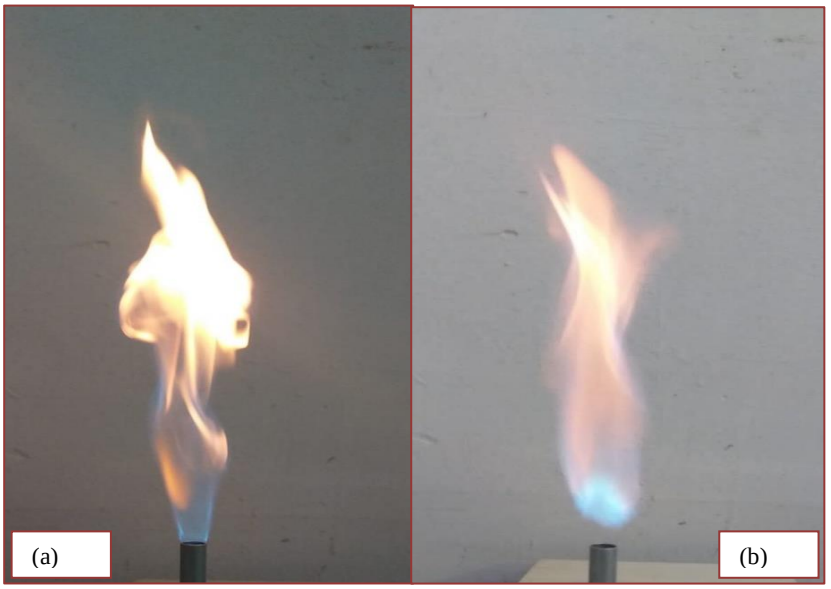
Figura 15. Campos de temperatura axial para chama difusiva e pré-misturada



Fonte: Os autores (2021).

Na figura 16 é visualizada a situação 3 em que é perceptível que para a chama pré-misturada (Figura 16b), a chama fica mais afastada do queimador (11,25 mm) devido ao aumento da vazão mássica proporcionada pela abertura maior de válvula.

Figura 16. Comparação para as chamas: (a) Difusiva. (b) Pré-Misturada

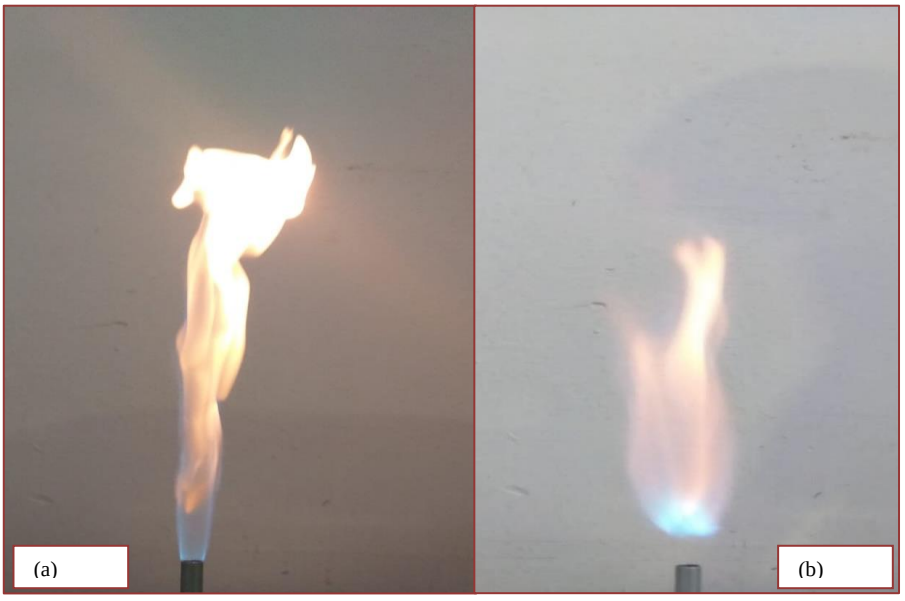


Fonte: Os autores (2021).

Para essa condição tem-se como resultado uma vazão mássica de **0,015 g/s**. Porém a abertura da entrada de ar não é completa, e somente próximo de 10% da abertura total para a chama não se apagar, pois está sendo formada uma chama muito rica. Nestas condições geralmente ocorrem os blow off, ou seja, a chama é levada pelo jato e se extingue (Turns, 2000). Pelo fato de a chama estar mais afastada, ao longo do experimento, se tornou muito difícil a estabilização da mesma e consequentemente analisar os campos de temperatura. Sendo assim, a seguir será visto os campos de temperatura para uma outra chama instável.

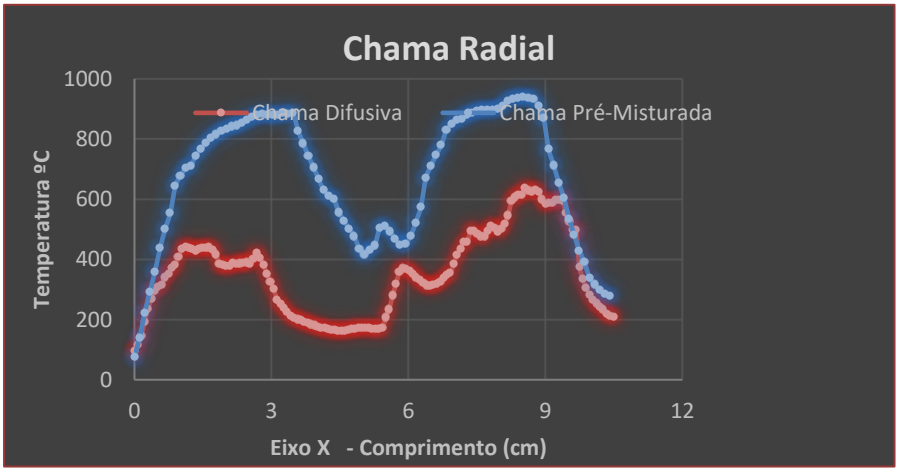
Na figura 17 temos outro caso extremo, em que nesse ocorre uma instabilidade na chama. Porém nesse caso foi possível a aquisição de dados para os campos de temperatura, pois a abertura de válvula foi possível próxima aos 20% da abertura completa. E, para a instabilidade ocasianada na chama pré-misturada (Figura 13b) tem-se que a chama ficou 2,02 cm acima do queimador. Nas Figuras 18 e 19 sao mostrados os campos de temperatura axial e radial respectivamente.

Figura 17. Comparação para as chamas: (a) Difusiva. (b) Pré-Misturada



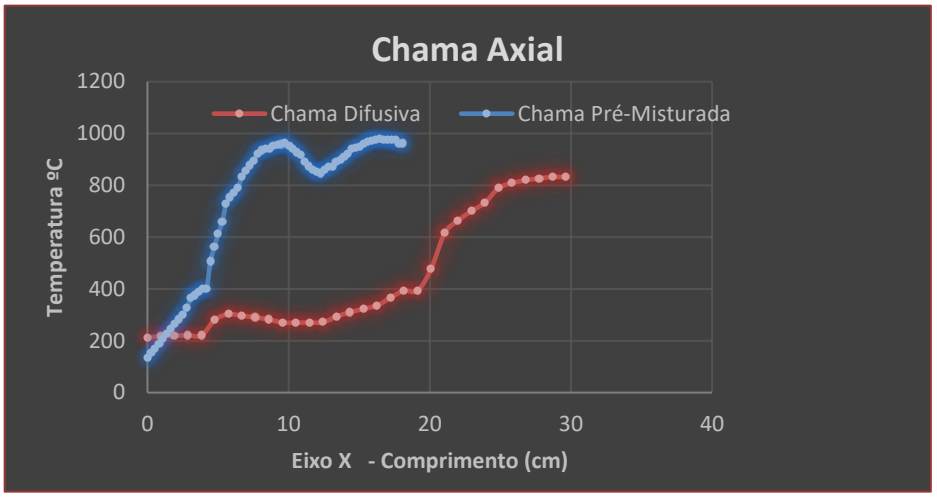
Fonte: Os autores (2021).

Figura 18. Comparação dos campos de temperatura radial para chama difusiva e pré-misturada



Fonte: Os autores (2021).

Figura 19. Comparação dos campos de temperatura radial para chama difusiva e pré-misturada



Fonte: Os autores (2021).

4. CONCLUSÕES

Destaca-se que esta pesquisa tratou de uma pesquisa experimental para analisar o comportamento e as caracteristicas e vantagens de uma combustão quando se usa uma chama pré-misturada quando comparada com uma chama difusiva. A chama pré-misturada os reagentes se misturam antes da zona de reação e isto tende a melhorar as condições operacionais e dá maior eficiencia do sistema em funcionamento. Este experimento se conduziu usando um queimador (um bico de Bunsen adaptado) que tem como base a formação de uma chama pré-misturada.

Todas as análises foram embasadas os estudos pré-existentes de trabalhos usando chamas pré-misturadas, conforme mostrados em Lacava (2002), Oliveira (2007) e Donatti (2019) e outros.

Para maior aprofundamento e melhor análise visual e de parâmetros foram adquiridos equipamentos e acessórios para essa etapa inicial e assim dar-se início a análise. Essa verificação inicial das características do comportamento de uma chama pré-misturada foi definido a partir dos parâmetros da operação sendo um dos principais a vazão mássica. Também foi possível realizar uma análise visual do comportamento da chama em determinadas condições e assim realizar as comparações com a literatura.

Além disso, foram realizadas as análises dos campos de temperatura, medindo o campo de temperaturas (radial [eixo X] e axial [Eixo Y]) em chamas pré-misturadas comparando com os resultados com os obtidos de chamas difusivas.

Assim, fundamentado nas revisões bibliográficas e na visualização das chamas durante os testes experimentais foi possível determinar as comparações de emissão de fuligem para cada um dos casos de pressão e respectiva abertura de válvula.

De forma geral foi observado: a) A combustão de chama pré-misturada pode mudar a estrutura de uma chama criando na região de alta formação de fuligem condições favoráveis para reduzir sua formação e aumentar a taxa de oxidação da fuligem formada; b) A eficiência da combustão, a redução da formação de poluentes, em especial a fuligem pode ser claramente visualizados durante a combustão. Este comportamento pode ser

observado com a variação dos parâmetros operacionais, tais como: variação da vazão, razão de equivalências e outros.

Doutro modo, a partir dos resultados mostrados acima, ou seja, da visualização das chamas para a condição de pré-mistura (quando comparado com a condição difusiva) são possíveis destacar algumas conclusões, tais como:

1. A partir da variação da vazão mássica, pode-se visualizar a forma com que a chama altera o seu respectivo comportamento de uma chama estável para uma chama instável, ocorrendo um fenomeno conhecido como blowoff (apagamento da chama);
2. Observou-se que para as chamas pré-misturadas os campos de temperaturas são maiores. Isso se torna mais perceptível a partir das mostradas. Isso ocorre devido a uma melhor taxa de mistura entre os reagentes promovendo a diminuição da fuligem da qual se pode observar quando a ocorre a diminuição da zona luminosa (conforme as Figuras 10 e 13). Na figura 16 pela dificuldade de estabilização ainda temos uma formação de chama parcialmente pré-misturada;
3. O sistema de deslocamento para auxiliar na medição de temperatura foi readaptado de projetos anteriores; contudo, o intervalo de captura da temperatura aumentou e o espaçamento (deslocamento) do termopar foi menor. Nestas novas condições percebeu-se que houve um resultado mais preciso das temperaturas radiais e axiais;
4. Outro aspecto observado durante a operação da combustão é a baixa estabilidade da chama em casos de pré-misturas em proporções bem maiores quando comparadas com as chamas difusivas. Muitas vezes estes casos ocorrem devido a melhora da taxa de misturas dos reagentes e a elevada relativa velocidade de escoamenteo dos reagentes. Nestes casos, quando a chama não estabiliza ocorre um fenômeno chamado de blow off.

Para qualquer velocidade de ar, existe uma velocidade de combustível ideal para manter a chama estável. Ou seja, em uma velocidade de jato de combustível extremamente baixa, a chama permanecerá ancorada (attached) no bocal do queimador. Aumentando a velocidade de saída do jato, a chama levanta e estabiliza em uma posição a jusante do bocal. A distância entre a borda do queimador e a base da chama levantada é denominada altura de levantamento (lift-off heigth). A altura de levantamento aumenta à medida que é incrementada a velocidade do jato do combustível até que, ao exceder um valor de altura máxima, neste momento a chama se extingue (blow-out) (Williams, 2019). Todos esses aspectos são perceptíveis para alguns parâmetros alterados. Estas condições forma observados em trabalhos realizados por (Carvalho, J.; Lacava, P. (2003)).

O incremento da velocidade do jato de combustível, a altura de levantamento atinge uma posição na qual a velocidade local do jato aumenta mais rapidamente do que a velocidade local da chama turbulenta e, consequentemente, a combustão não pode ser sustentada, pois, nesta condição, ocorre a extinção da chama devido à diferença dessas velocidades. (Nzinga, 2019).

Atualmente para projetos que envolvam chamas pré-misturadas há um conjunto de situações problemáticas a serem obeservados para prever características de instabilidade. É natural ser solucionado para determinadas condições de operação. Porém há dificuldade quando se deseja soluções fazendo alterações nas medidas de vazão e pressão.

Como esperado (conforme Figuras de 13, 16 e 17) é perceptivel uma menor (há redução) emissão de fugligem em chamas pré-misturadas em relação as chamas difusivas. A maior taxa de fuligem é produzida na região primária (mais próxima a montante do queimador). Nestes casos, considerando que as temperaturas em chamas pré-misturadas é mais elevada boa parte da fuligem da produzida na região primária é consumida na região secundária.

Conforme mostram as Figuras de 13, 16 e 17 as chamas pré-misturadas emitem menor quantidade de fuligem. Isto pode ser confirmado através das temperaturas (mostrada nas Figuras 11, 12, 14, 15, 18 e 19) e das alturas das chamas. Nas chamas pré-misturadas a temperatura é mais elevada, isto acarreta numa mior taxa de oxidação de fuligem diminuindo consequentemente a emissão de fuligem. Outro fator que permite a visualição da diminuição da fuligem nestes casos é própria altura das chamas, visto que a alturas destas diminuem devido a maior eficiencia na mistura e da queima dos reagentes, conforme apontado por Lewis (1961).

Por fim, observou-se nesta pesquisa as diversas diferenças entre os tipos de chamas existentes, e neste caso específico, entre as chamas difusivas e pré-misturadas. Também foi possível estabelecer e definir relações entre a geometria do queimador, seus acessórios e condições operacionais mostrando que a pré-mistura melhora e eficiência a combustão. E, além disto, a eficiência da combustão, a redução da formação e a oxidação de poluentes, em especial a fuligem, pode ser intensificada em razão do modelo do queimador e de seus parâmetros operacionais.

REFERÊNCIAS

[1] CARVALHO, J.; LACAVA, P. T.; Emissões em processos de combustão, Editora Unesp, 1ª Ed. São Paulo – Brasil, 2003;

[2] DA SILVA, Rafael Freitas de Farias. Estudo dos efeitos do campo gravitacional na combustão sem pré-mistura de metano. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Aeroespacial) - Universidade de Brasília, Porto Alegre, 2014. Orientador: Prof. Dr. Fábio Alfaia da Cunha;

[3] DONATTI, Leonardo S. Estudo experimental do limite de descolamento de chamas pré- misturadas de biogás. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019;

[4] FRAZÃO, Ayrton Ribeiro. Estudo dos efeitos do campo gravitacional na combustão sem pré-mistura de metano. 2019. Dissertação (Engenharia Mecânica) - Programa de iniciação científica, Universidade Estadual do Maranhão, Porto Alegre, 2019. Orientador: Professor Dr. Fernando Lima de Oliveira.

[5] IBGE. Indicadore de Desenvolvimetno Sustentável (IDS) 2015. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/10125-ibge-divulga-indicadores-de-desenvolvimento-sustentavel-ids-2015. Acesso em 2021.

[6] LACAVA, P. T. Elementos de Combustão, P. 109, São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2002;

[7] LEWIS, B.; von Elbe, G., Combustion, Flames and Explosion of Gases, Academic Press, 1961;

[8] NZINGA, Manuel António Kiony. Estudo experimental de estabilidade e emissão de radiação térmica em chamas não pré-misturadas de gás natural diluídas com dióxido de carbono sujeitas a escoamento cruzado2019. Tese de doutorado (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. . Orientador: Prof. Dr. Felipe Roman Centeno;

[9] OLIVEIRA, F. L. Presença de Fuligem em chamas não Pré-misturadas com Excitação Acústica. 2007. 98 f. Tese (Mestrado). Instituo Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos. 2007;

[10] ROCHA A. M. Carvalho Jr. J. A. Lacava P. T. Application of Pulsating Combustion in the Delft Jet Diffusion Flame Burner. Brandbrief TU Delft 2006: 13(1): p. 22-25;

[11] SMANIOTTO, Felipe. Caracterização do campo de temperatura de chamas utilizando termopares ultra-finos. Orientador: Prof. Dr. Nattan Roberto Caetano. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

[12] SANTOS, Guilherme Henrique Sempionato Souza. Estudo de chama pré-misturada estratificada usando modelo de enrugamento de superfície de chama com limite de extinção. Orientador: Wladimyr Mattos da Costa. 2015. Tese de doutorado (Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Combustão e Propulsão) - Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015;

[13] TURNS, Stephen R. An Introduction to Combustion: Concepts and Applications. 2. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000;

[14] VEYNANTE, D.; VERVISCH, L. Turbulent combustion modeling. Progress in energy and combustion science;

[15] Williams, A. Fundamentals of oil combustion., 1976. Progress in Energy and Combustion Science;

[16] WILLIAMS, F. A. Combustion Theory. New York: Benjamin Cumings Pub., 1985 .

Capítulo 4

Considerações teóricas e práticas para o cálculo da emissão de CO_2 para transportadoras de cargas

Luiz Eduardo Simão
Marcos Antônio Cezne
Gessica Luiza Scariot

Resumo: O objetivo deste é apresentar um método prático de cálculo de emissão de CO_2 baseado estudo de caso único, para análise do consumo de combustíveis de transporte de cargas. A metodologia de cálculo utilizada está baseada no consumo de combustível (botton-up), levou em consideração as características da frota da empresa objeto de estudo, incluindo o número de veículos e a sua fase tecnológica, a intensidade de uso real da frota em operação e o consumo real de combustíveis. A partir destas informações iniciais, foi possível obter o volume das emissões de CO_2 específicos da frota considerando veículos usando diesel comum e biodiesel (S10). Os resultados indicaram uma emissão de CO_2 da frota de 1.643 toneladas por ano com o uso de biodiesel (S10), ou seja, uma redução de 10,5% em relação ao total de emissão de CO_2 do diesel comum.

Palavras-chave: Operações sustentáveis; transporte de cargas; método de cálculo; emissão CO_2.

1. INTRODUÇÃO

O transporte de cargas é um importante setor econômico alimentado pelo crescimento econômico, globalização dos mercados e urbanização. Estima-se que até 2050, o crescimento do transporte de mercadorias de superfície (rodovia e ferrovia) é projetado para variar de 100 e 430% nas economias não-OCDE. Em todo o mundo, o setor de transporte foi responsável por 23% das emissões totais de CO_2 provenientes da combustão de combustíveis, sendo que o transporte rodoviário foi responsável por 20% desse total (*International Energy Agency*, 2016). Segundo o relatório do IPCC (2014), o CO_2 é responsável por mais de 97% das emissões totais de GEE de fontes móveis.

Só o Brasil emitiu em 2016, 2,278 bilhões de toneladas brutas de gás carbônico equivalente (CO_2e), contra 2,091 bilhões em 2015 (SEEG, 2018). Trata-se de 3,4% do total mundial, o que mantém o Brasil como sétimo maior poluidor do planeta. Os dados são da nova edição do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2018) indicam que o crescimento é o segundo consecutivo, e ocorreu em meio à pior recessão da história do Brasil. Em 2015 e 2016, a elevação acumulada das emissões foi de 12,3%, contra um tombo de 7,4 pontos no PIB (Produto Interno Bruto), que recuou 3,8% em 2015 e 3,6% em 2016. O Brasil é, assim, a única grande economia do mundo a aumentar a poluição sem gerar riqueza para sua sociedade.

A elevação nas emissões em 2016 se deve à alta de 27% no desmatamento na Amazônia, pois as emissões por mudança de uso da terra cresceram 23% no ano passado, respondendo por 51% de todos os gases de efeito estufa que o Brasil lançou no ar. Por outro lado, quase todos os outros setores da economia tiveram queda nas emissões. A mais expressiva foi no setor de energia, que viu um recuo de 7,3% – a maior baixa em um ano desde o início da série histórica, em 1970. O setor de processos industriais teve redução de 5,9%, e o de resíduos, 0,7%. As emissões da agropecuária subiram 1,7%. Contudo, o segmento de Transportes ainda é o maior emissor no Brasil dentro dos setores analisados (Energia e Produção Industrial e Uso do Produto), sendo responsável pela emissão de 204 $MtCO_2$ em 2016, ou 39% do total (SEEG, 2018).

No ano de 2020, no Brasil, foi de 9,5% o aumento das emissões brutas de gases de efeito estufa, redução de quase 7% nas emissões globais, o país foi na contramão do resto do mundo, tornando-se possivelmente o único grande emissor do planeta a verificar alta. O total de emissões brutas atingiu 2,16 bilhões de toneladas de CO_2 equivalente ($GtCO_2e$)[2] no ano de 2020, contra 1,97 bilhão de toneladas em 2019. O nível de emissões verificado em 2020 é o maior desde o ano de 2006 (SEEG, 2021).

Dada a importância do tema e do volume de emissões de CO_2 emitido pelo transporte rodoviário de cargas, a determinação das quantidades de emissões de CO_2 por parte da frota de caminhões de uma transportadora de cargas foi o objeto de estudo deste trabalho. Apesar de não ser considerado um gás poluente, é o gás do efeito estufa mais importante (GEE), e se o aquecimento global ultrapassar o limite de segurança de 2°C, as consequências poderiam estar entre ruim e catastrófico (IPCC, 2014). Como tal, os gases de efeito estufa poderão comprometer o ritmo da atividade econômica do país, já que "[...] poderão causar grandes impactos sobre a economia em decorrência de mudanças drásticas no meio ambiente diante do aquecimento do clima" (IPEA, 2000, p.12).

Para melhorar a imagem e aumentar a eficiência nos negócios, mas também por causa pressões legais, cada vez mais atenção está sendo dada às soluções "verdes". Entretanto, atualmente, existe uma variabilidade considerável entre as metodologias existentes para o cálculo de emissões de frete e seus bancos de dados recomendados. Assim, ter uma gama

tão ampla de métodos e ferramentas de cálculo disponível para fazer o cálculo e a comparação direta dos resultados, mesmo para cadeias de suprimentos mais simples tornam-se uma tarefa árdua. A multiplicidade de ferramentas e metodologias faz a escolha e a análise dos impactos (percebidos) na precisão dos cálculos ser difícil, especialmente no caso de cadeias de suprimentos multimodais complexas.

Assim, o objetivo desse trabalho é escolher uma metodologia mais adequada para determinar as quantidades de emissão de uma frota usada numa rede de transporte, considerando o fluxo de suprimentos de uma rede de clientes industriais.

Para fazer isso, o artigo está estruturado em quatro seções. Na primeira seção são apresentados a fundamentação teórica sobre a emissão de CO_2 no setor de transporte no Brasil e as principais metodologias usadas para fazer a medição dessas emissões. Na sequência, é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa. A seguir é apresentado os dados do caso objeto de estudo, bem como a análise dos dados e a discussão dos resultados. Por fim, são apresentadas as conclusões.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Estima-se que o transporte de superfície total (rodoviário e ferroviário) aumente de 32 mil milhões de toneladas-quilómetro em 2015 para cerca de 83 mil milhões de toneladas-quilómetro em 2050, representando cerca de 25% do total da movimentação global de mercadorias. O transporte de carga aumentará em todas as regiões, mas existem grandes diferenças entre as economias da OCDE e não-OCDE. A maior parte do crescimento ocorrerá em economias em desenvolvimento, com os volumes triplicando nas economias não-OCDE para representar quase 80% de toda a demanda de transporte de carga em 2050 (International Transport Forum, 2017).

As empresas de transporte têm à sua disposição uma gama de diferentes modais de transporte possíveis pelos quais transportar as suas mercadorias. Para tomar essa decisão, cada vez mais atenção deve ser dada às soluções “verdes” para melhorar a imagem e aumentar a eficiência para os negócios, mas também por causa pressões legais (LEONARDI & BAUMGARTNER, 2004). Nesse sentido, diferentes países já possuem sua própria legislação ou requisitos em matéria de contabilidade de CO_2.

No entanto, a matriz de transportes brasileira apresenta problemas estruturais relevantes, devido à falta de um planejamento integrado de desenvolvimento de seu sistema de transportes, que comprometem o desenvolvimento econômico e social do país, e, como consequências dessas lacunas, os desequilíbrios na matriz de transporte. Desigualdades entre regiões e barreiras para circulação de bens e pessoas comprometem a qualidade dos serviços prestados. Esses problemas estruturais tornam o modal rodoviário o mais utilizado, acarretando impactos econômicos e ambientais negativos (PLAZA *et al*., 2020).

Com base nesses objetivos e pressões legais, uma série de iniciativas para calcular as emissões do frete transportes foram desenvolvidos. Assim, atualmente, existe uma variabilidade considerável entre as metodologias existentes para o cálculo de emissões de frete e seus bancos de dados recomendados, conforme resumido no Quadro 1.

Quadro 1 – Metodologias, Ferramentas e Banco de Dos usadas para cálculo emissão CO_2 no transporte

Metodologia	Descrição
ARTEMIS	Banco de dados com emissões anuais detalhadas que incluem todos os modais, exceto ar. Transporte interno e manobras também incluído.
Bilan Carbone	Abordagem Francesa para cálculo no nível de veículo; também oferece uma abordagem em Tonelada-Kilometro.
DEFRA	Banco de dados de fatores de emissão para combinação de diferentes tipos de veículos, combustível e fatores de utilização de capacidade.
DSLV	Guias Prático baseada na norma EN16258, com foco em transporte rodoviário.
EcoTransIT World	Inclui uma base de dados detalhada e acurada a nível de veículo.
Protocolo GHG	Abordagem bem estruturada e com grande aceitação para medição de emissões no nível corporativo ou de produto.
HBEFA	Banco de dados com grande aceitação para emissões no nível de transporte rodoviário, válido para um limitado número de países.
JEC Emission Factors	Banco de dados para emissão na produção de combustíveis (WTT) e nos pontos de uso (TTW)
Map & Guide	Ferramenta de cálculo de emissão que implementa a norma EM 16258 usando dados da base HBEFA.
NTM	Ferramenta de cálculo com grande conhecimento apenas para membros com objetivo de cobrir todas as atividades logísticas.
World Ports Climate Iniciative (WPCI)	Abordagem com grande aceitação para transporte marítimo de curto percurso, longo percurso e terminais.

Fonte: Adpatado de Auvien et al. 2014.

Entretanto, isso tornou-se um problema porque metodologias diferentes recomendam o uso de diferentes fatores de emissão, tanto em termos de valores de emissões e unidades. De fato, ter uma gama tão ampla de métodos, base de dados com fatores de emissão e ferramentas de cálculo disponível para fazer o cálculo de emissão e a comparação direta dos resultados, mesmo para cadeias de suprimentos mais simples podem tornar-se uma tarefa difícil. A multiplicidade de ferramentas, fatores de emissão e metodologias faz a escolha e a análise dos impactos (percebidos) na precisão dos cálculos ser difícil, especialmente no caso de cadeias de suprimentos multimodais complexas. Como consequência, muitas vezes não haverá confiança ou clareza nos resultados obtidos.

As principais metodologias nesta área baseiam-se em dois grandes fundamentos: (1) metodologias baseadas no consumo de combustíveis; (2) metodologias baseadas em atividades. As metodologias baseadas em combustíveis usam dados reais de consumo de combustível como base para estimar as emissões associadas, com base no conteúdo do combustível e nos pressupostos em relação à sua combustão. Cálculo baseado em combustível é listado como a metodologia de primeira escolha para o GHG Protocol, e também serve como metodologia primária para uso nos inventários nacionais de emissões do IPCC (AUVIEN et al. 2014). Metodologias baseadas em combustíveis são o método preferido quando os registros históricos são de interesse e são por natureza um olhar para trás, contando com a contabilidade do combustível consumido, e exigiria pressupostos a serem feitos se usados para avaliar cenários futuros de melhoria.

Já as abordagens baseadas em atividades fornecem uma metodologia que, embora não seja tão precisa para medir as emissões históricas de CO_2 como abordagens baseadas no consumo de combustíveis, é muito melhor para situações de planejamento. Nos métodos baseados em atividade, algumas medidas de atividade, como quilômetros percorridos

pelo veículo ou tonelada-km movidas, são multiplicadas por um fator de nível macro para estimar as emissões totais de CO_2.

2.1. A EMISSÃO DE CO_2 NO TRANSPORTE DE CARGA NO BRASIL

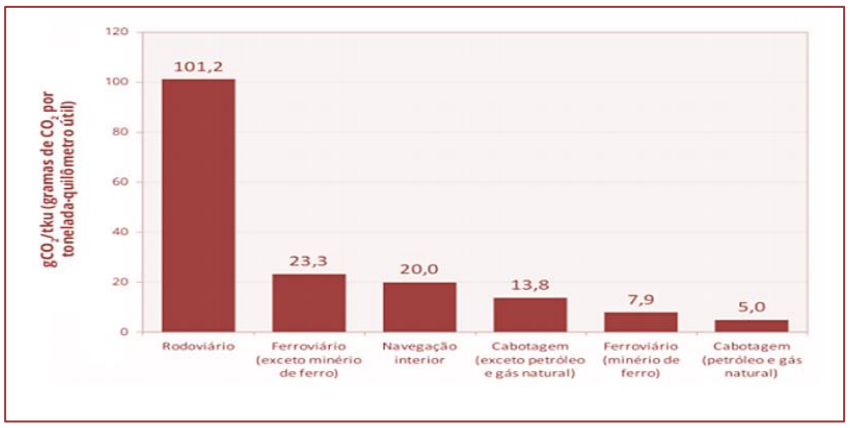
O Brasil é um país em desenvolvimento caracterizado por uma economia complexa e dinâmica, sendo a sétima economia do mundo. É um país urbano-industrial, com o setor agropecuário de destaque na economia mundial. O Brasil figura também entre os maiores e mais eficientes produtores mundiais de vários produtos manufaturados, incluindo cimento, alumínio, produtos químicos, entre outros. No que diz respeito à participação dos setores da economia no Produto Interno Bruto (PIB), segundo o IBGE (2022), no ano de 2021, verificou-se o seguinte cenário: o PIB totalizou R$ 8,7 trilhões, e cresceu 4,6%, frente ao déficit de 4,1% no ano de 2020, antes marcado por uma série de estabilidade na casa de 1% entre os anos de 2017 e 2019. Nessa comparação, a participação da Agropecuária responde por 27,4% do PIB, os Serviços por 50,4% do PIB, e a Indústria por 22,2% do PIB.

De acordo com o Boletim Estatístico (CNT 2021), a matriz de transporte de cargas é realizada principalmente por via rodoviária (64,86%), seguida por ferrovia (14,95%), hidroviária (15,72%), dutoviária (4,45%) e aérea (0,3%). Essa divisão modal reflete a dependência do modal rodoviário para o sistema logístico de cargas, o que pode prejudicar o desenvolvimento econômico regional diante de falhas operacionais. Deve-se ainda considerar que em determinadas regiões do país não existem estruturas que permitam integração e deslocamento modal, ou as que operam são ineficientes, o que implica ainda mais no uso do modal rodoviário (PLAZA *et al.*, 2020).

Como parte do setor de serviços, o segmento de transportes é o maior emissor dentro dos setores analisados, sendo responsável por 47% do total das emissões dos setores de Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP), sendo eu a Indústria vem a seguir, com 31% do total (SEEG, 2021). Dessa forma, por apresentar um consumo energético acima da média mundial o setor de transportes brasileiro aparece como um problema no que se refere às emissões de GEE, sobretudo de seu principal gás, o Dióxido de Carbono (CO_2).

Nos últimos dez anos, o segmento de transportes apresentou a maior taxa média de crescimento do consumo de energia – 4,4% ao ano, entre 2006 e 2016 (SEEG, 2018). Destaca-se que o perfil de demanda de energia nessa atividade é caracterizado pela predominância do modal rodoviário, que respondeu por 93,7% do consumo em 2016, e pela pesada dependência do petróleo (78% do consumo em 2016). Com relação a emissão específica de CO_2 por modal de transporte de carga no Brasil, a grande contribuição vem do modal rodoviário, haja vista que esse modal é responsável por 63% da movimentação de carga (SEEG, 2018), conforme resumido no gráfico 1.

Gráfico 1 – Emissão específica de CO_2 por modo de transporte de carga no Brasil



Fonte: SEEG (2018).

Verifica-se no gráfico 1 que o modal rodoviário tem participação majoritária nas emissões do segmento de transportes (92% em 2016), tendo, por isso, um grande o potencial de redução de emissões a partir de políticas de transferência modal que priorizem modos menos intensivos em carbono, pois os veículos a diesel correspondem a 62,2% das emissões (EPE, 2006), além de melhorias na gestão das frotas, tecnologia em veículos e acessório (LEONARDI & BAUMGARTNER, 2004; BARTHOLOMEU, PÉRA & CAIXETA-FILHO, 2016).

O relatório (SEEG, 2018), afirma que essa situação é reflexo da grande importância que o petróleo ainda possui na matriz energética brasileira, e indica que a busca pela redução das emissões desses setores, necessariamente, passa pelo desafio de viabilizar e incentivar o uso de fontes energéticas e tecnologias que substituam os derivados de petróleo ou, ao menos, possibilitem a diminuição de seus usos.

A análise das emissões do setor de energia, feita pelo SEEG (2018), mostra que o transporte de cargas no Brasil emitiu 101,9 $MtCO_2e$ em 2016, o que correspondeu a, aproximadamente, metade das emissões do segmento de transportes ou um quinto das emissões do universo dos setores de Energia e PIUP. A elevada predominância do modo rodoviário no país, quando comparado a outros países de dimensões, explica, em grande medida, a enorme importância que o óleo diesel tem no consumo energético dos transportes e nas emissões de GEE relacionadas à energia, bem como a presença dos caminhões como principal fonte emissora, não apenas no segmento de transportes, mas no setor de energia como um todo. Por isso, as emissões dessa categoria de veículos no Brasil (84,5 $MtCO_2e$) são maiores, por exemplo, do que as emissões de toda a queima de combustíveis4 no segmento industrial (66,9 $MtCO_2e$) ou mesmo do que as emissões do conjunto de termelétricas em operação em 2016 (54,2 $MtCO_2e$).

Uma das conclusões do relatório SEEG (2018) é que será difícil descarbonizar esse segmento da economia, em especial após a paralisação dos caminhoneiros, que obrigou o governo a aumentar o subsídio ao óleo diesel. Ainda de acordo com relatório do SEEG (2018), a necessidade de descarbonizar a matriz de transportes esbarra na grande dependência que o país tem do modal rodoviário como opção para transportar cargas. O mesmo relatório ainda ressalta que dos seis países com maior extensão territorial do mundo, o Brasil é o que mais usa caminhões (65% da carga transportada, contra 53% na

Austrália, o segundo colocado, e apenas 8% na Rússia). O SEEG (2018), afirma que esse predomínio deve se manter pelo futuro previsível do planejamento governamental.

Por fim, o relatório analítico do SEEG (2018) mostra que as emissões do setor de energia sofreram uma redução de 7,3% em 2016 em relação ao ano anterior. Entretanto, o motivo para a redução se deve a alguns fatores como: a recessão econômica, que impactou a indústria e o transporte de cargas; a recuperação parcial dos reservatórios das hidrelétricas, o que permitiu desligar termelétricas fósseis que vinham sendo acionadas na estiagem; o aumento do uso de etanol no transporte de passageiros; e a expansão das usinas eólicas no Brasil.

2.2. MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DA EMISSÃO DE CO_2 NO TRANSPORTE

A escolha do método para avaliar as emissões de gases do efeito estufa (GEE) como CO_2 é uma etapa importante para o desenvolvimento de práticas de gestão de frotas de transporte de cargas, com objetivo de mitigar o impacto do transporte de cargas no aquecimento global. Entretanto, devido à grande variedade de métodos existentes, a escolha do método que deve ser usado pode causar confusão nos gestores (AUVIEN et al., 2014).

Vários métodos para cálculo da emissão de CO_2 produzidos no transporte de cargas estão disponíveis na literatura: (1) Modal Shift ONU (UNFCCC, 2010); (2) Top-down (IPCC, 2006); (3) Bottom-up (IPCC, 2006); (4) NTM (NTENT, 2005); (5) Global Logistics Emission Council (GLEC, 2016) ; (6) US Environmental Protection Agency (EPA, 2005); e (7) European Environmental Agency (EEA, 2014); (8) Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA, 2015) e (9) European norm EN 16258 (CEN, 2012).

Dentre eles, quatro métodos destacam-se pela sua aplicabilidade: Top Down, Bottom Up, NTM e DEFRA. Os dois primeiros foram desenvolvidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), ligado a Organização das Nações Unidas (ONU), o penúltimo pela organização não-governamental sueca Network for Transport and Environment National Transport Model (NTENT) e último pelo departamento de meio ambiente do governo inglês (DEFRA).

O método *top-down*, baseia-se nas emissões de dióxido de carbono (CO_2) tendo como item para cálculo os dados de produção e consumo de energia, não importando a forma como a energia é consumida (IPCC, 2014). A estimativa das emissões de GEE pelo método *top-down* é recomendada pelo Ministério das Minas e Energia (SEEG, 2018) no Balanço Energético Nacional – BEN. O método é composto por seis passos lógicos, sustentados por equações para o cálculo da emissão real de CO_2.

Já o método *bottom-up* é complementar ao método *top down*. Ele pode ser feito quando se têm dados locais detalhados e confiáveis sobre a tecnologia de motorização utilizada, qualidade do combustível, consumo, quilometragem, fatores de emissão levantados em laboratórios locais, estado de manutenção da frota etc., para cada subgrupo de veículos com características similares A grande vantagem do método *bottom-up* é que ele permite que sejam estudados diversos outros gases, além do CO_2 (IPCC, 2014). Além disso, uma vez que não existem fatores de emissão levantados localmente, a estimativa das emissões de GEE da frota diesel de caminhões em circulação no Brasil deve ser feita preferencialmente a partir dos fatores de emissão de CO_2 para veículos pesados europeus com autonomia/consumo assumido de 3,3 km/l ou 29,9 l/100km, uma vez que a

tecnologia de motorização utilizada no Brasil se assemelha mais à dos veículos que circulam na Europa do que a dos veículos americanos (ALVARES JR. & LINKE, 2001).

O método NTM foi desenvolvido na Europa e é utilizado para calcular o impacto ambiental dos diversos tipos de transporte de forma detalhada (LOO, 2009). Neste método são definidos três níveis de detalhamento, sendo o primeiro nível o mais baixo e o terceiro o mais elevado, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Níveis de detalhamento do método NTM

Nível	Itens considerados
1	Idade média do veículo, tipo de motor, tipo de combustível e a utilização média de carga do veículo.
2	Diferenças entre os modelos de veículos, definição da utilização média dos motores, tipo de combustível e a capacidade média de carga do veículo.
3	Cálculo da emissão de dióxido de carbono de cada tipo de veículo de uma companhia.

Fonte: Loo (2009).

Entretanto, para realizar os cálculos são necessários softwares desenvolvidos pela própria NTM (LOO, 2009; AUVIEN et al., 2014). O método é bastante apropriado para realizar o cálculo de emissão de CO_2 quando se possui dados detalhados do sistema que se deseja estudar, e por poder ser aplicado aos diversos modais de transporte: rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo.

O método DEFRA é um guia para mensurar e reportar emissão de gases do efeito estufa (GHG) para operações de transporte de cargas (AUVIEN et al., 2014). O método DEFRA utiliza a abordagem *bottom-up* para estimar as emissões de gases do efeito estufa da frota de caminhões, onde o cálculo de emissão de CO_2 é realizado considerando dados da quilometragem anual por tipo de veículos, o seu consumo de combustível e fatores de emissão de cada tipo de veículo (MCKINNON, 2010). Esse método foi escolhido pois é mais fácil de calcular as emissões, uma vez que as empresas de transporte possuem dados de quilometragem e consumo de combustível de veículos e já existem dados específicos de fatores de emissão por tipo de veículo confiáveis para a frota brasileira (BARTHOLOMEU & CAIXETA-FILHO, 2009; GHG Protocol, 2010; IPCC, 2014).

O Quadro 2, apresenta a partir dos quatro métodos para cálculo da emissão de CO_2 produzidos no transporte de cargas mais utilizados, uma síntese das vantagens e desvantagens apresentadas em cada elemento.

Quadro 2 – Levantamento das vantagens e desvantagens de cada método

MÉTODO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
TOP DOWN	Se baseia nas emissões de dióxido de carbono O item de cálculo são os dados de produção e consumo de energia (IPCC,2014).	Não leva em consideração como a energia é consumida (IPCC,2014).
BOTTOM UP	Permite que sejam estudados diversos outros gases além do CO_2 (IPCC,2014).	Necessita de dados locais detalhados e confiáveis sobre a tecnologia de motorização utilizada (IPCC,2014).
NTM	É utilizado para calcular diversos tipos de transporte de forma detalhada (LOO,2009).	Para realização dos cálculos são necessários softwares desenvolvidos pela própria NTM (LOO,2009; AUVINEN et al., 2011).
DEFRA	O cálculo de emissão de CO_2 é realizado considerando dados da quilometragem anual por tipo de veículos, o seu consumo de combustível e fatores de emissão de cada tipo de veículo (MCKINNON, 2010). As empresas de transporte possuem dados de quilometragem e consumo de combustível de veículos (BARTHOLOMEU; CAIXETA-FILHO, 2009; GHG PROTOCOL, 2010; IPCC, 2014).	Necessita de dados específicos de fatores de emissão por tipo de veículo (BARTHOLOMEU; CAIXETA-FILHO, 2009; GHG PROTOCOL, 2010; IPCC, 2014).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

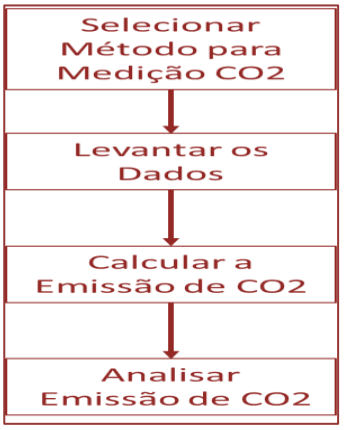
Com base no apresentado, apesar de várias iniciativas para calcular as emissões do frete transportes, mesmo com uma considerável quantidade de metodologias existentes para o cálculo de emissões de frete e seus bancos de dados recomendados, conforme resumido no Quadro 1 e na síntese dos quatro métodos para cálculo da emissão de CO_2 produzidos no transporte de cargas mais utilizados, ainda assim é possível perceber que atualmente está faltando um padrão global oficial e mais simples a ser utilizado pelas empresas de transportes.

3. METODOLOGIA

Uma das principais razões para as transportadoras de cargas calcularem suas emissões é prover informações aos seus clientes. Por isso, o objetivo deste trabalho é apresentar uma ferramenta prática de cálculo da emissão de CO_2 de transporte de cargas que possa ser usado pelas transportadoras brasileiras.

A metodologia utilizada é de natureza aplicada, abordagem quantitativa e objetivo descritivo. A metodologia foi realizada em quatro etapas, conforme figura 3.

Figura 3 – Metodologia de pesquisa



Fonte: Autores.

Na primeira etapa da metodologia foi realizada uma revisão teórica para identificar os métodos de medição de emissão de CO_2 existentes na literatura. Apesar de existirem diversos métodos, foi selecionado o método proposto pelo DEFRA (2015), pela sua simplicidade de aplicação e necessidade de poucos dados. A abordagem baseada no consumo de energia (*botton-up*) é recomendada para empresas de transporte (MCKINNON, 2010), uma vez que é o meio mais acurado para calcular as suas emissões (LEONARDI, MCKINNON & PALMER, 2012). O método proposto pelo DEFRA (2015) selecionado utiliza para o cálculo de emissão de CO_2 três variáveis: (1) a quilometragem anual por tipo de veículos; (2) o consumo de combustível dos veículos; e (3) os fatores de emissão de CO_2 dos veículos, uma vez que já existem dados específicos confiáveis (IPCC, 2014) para a frota brasileira.

Após a seleção do método para medição da emissão de CO_2 na frota, foram coletados dados primários junto a transportadora objeto de análise. Os dados levantados são de uma amostra de 145 veículos utilizados, considerando um período de 90 dias. Primeiro, os veículos da frota foram classificados como veículos pesados do tipo bitrem, com cavalo 6x4, com capacidade máxima de 74 toneladas e com capacidade de carga máxima de 50 toneladas. Na sequência, foram levantados e tabulados os dados relativos ao total de quilômetros rodados de cada veículo durante o período analisado. Para cada um dos veículos, foram identificados o tipo de combustível, sendo então levantados e tabulados os dados do consumo de combustível durante o período analisado.

Finalmente, foram identificados os fatores de emissão dos tipos de veículos e tipos de combustível. Para a estimativa das emissões de gases do efeito estufa da frota diesel de caminhões em circulação no Brasil, deve ser feita preferencialmente a partir dos fatores de emissão de CO_2 para veículos pesados europeus com autonomia/consumo assumido de 3,3 km/l ou 29,9 l/100km (IPCC, 2014), uma vez que a tecnologia de motorização utilizada no Brasil se assemelha mais à dos veículos que circulam na Europa do que a dos veículos americanos (ALVARES JR. & LINKE, 2010). Os fatores de emissão de CO_2 para caminhões pesados acima de 44t à diesel comum da base de dados do DEFRA (2015) é de 2,71 $KgCO_2$/litro enquanto para biodiesel S10 é de 2,67 $KgCO_2$/litro.

Contudo, nesse trabalho foram utilizados para os cálculos os fatores de emissão de CO_2 para caminhões pesados acima de 44t à diesel comum de 2,43 $KgCO_2$/litro consumido (IPCC, 2014). Já o fator de emissão de CO_2 utilizado para caminhões pesados acima de 44t

utilizando biodiesel S10 como combustível é de 2,69 $KgCO_2$/litro consumido no Brasil (IPCC, 2014).

Com os dados levantados, a terceira etapa da metodologia foi aplicada a equação da figura 4 para calcular a quantidade de emissão de CO_2 para o processo de transporte frota analisada, baseado em nos dados históricos de consumo de diesel e biodiesel.

Figura 4 – Fórmula para cálculo emissão CO_2 modal rodoviário usando diesel

Fonte: DEFRA, 2015.

Portando, usando a fórmula da figura 4, sabendo-se o fator de eficiência do consumo de combustíveis (2,43 $KgCO_2$/litro diesel) e o consumo total de biodiesel S10 (2,69 $KgCO_2$/litro), o total de emissão de CO_2 pode ser calculado.

A quantidade CO_2eq significa que a emissão de CO_2 gerada é equivalente ao conteúdo de carbono resultante da queima do óleo diesel, uma vez que além do CO_2, também são emitidos outros gases do efeito estufa como CH_4 e NO_2, entre outros, que não objeto desse estudo.

Por fim, os resultados dos cálculos do desempenho do sistema de distribuição em relação as emissões de CO_2 no processo de transporte, foram analisados com relação as quantidades, emissão por kg transportado, desempenho dos veículos. Os resultados encontrados são apresentados e discutidos na próxima seção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este estudo, foi considerado uma empresa transportadora para o setor industrial, que transporta produtos de várias plantas dos fornecedores para as plantas do cliente nos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo, utilizando caminhões bi trem, movidos a biodiesel, com peso máximo de 74 toneladas e uma capacidade de carga máxima de 50 toneladas. Os dados de utilização da frota estão resumidos na tabela 1.

Tabela 1 – Dados de operação da frota

Mês	KM	Peso Bruto	Número Fretes	Litros Consumidos
Jan/2018	81.060	6.729.961	140	49.568,49
fev /2018	101.904	8.476.461	176	63.137,13
Mar/2018	90.324	7.621.299	156	56.282,03
Total	**273.288**	**22.827.721**	**472**	**168.987,65**

Fonte: Autores.

A tabela 1 indica uma intensa movimentação de mercadorias pela frota de caminhões analisada (472 viagens), com um volume total de 22,827 toneladas no período analisado. A frota apresenta uma produtividade média de 83,5 kg/km e uma taxa de carregamento de 48,3 toneladas por veículo, indicando uma utilização da capacidade de carga alta (96,72%).

A análise dos dados indicou também um consumo médio de 1,61 km/litro da frota analisada, bem abaixo da média nacional de 2,20 km/litro (ALVARES JR. & LINKE, 2001), 2,75 km/litro para trabalhadores autônomos (CRUVINEL, PINTO & GRANEMANNE, 2012) e 2,135 km/litro (BARTHOLOMEU, PÉRA & CAIXETA-FILHO, 2016) identificado na literatura apesar do uso de caminhões novos, todos acima do ano 2015 na frota analisada. Os Esse baixo desempenho com relação ao consumo médio pode acorrer devido a problemas na eficiência na direção, tais como manutenções preventivas e treinamentos de motoristas ou limitação da velocidade do veículo devido ao tipo de carga transportada ou condições de tráfego nas rodovias.

Os dados de emissão de CO_2 baseado na metodologia adota, considerando os fatores de emissão para o diesel comum e para o biodiesel S10, são apresentados na tabela 2.

Considerando os fatores de emissão de CO_2 para caminhões pesados acima de 44t à diesel comum e biodiesel S10, verifica-se que os fatores brasileiros indicados pelo IPCC (2,69 $KgCO_2$/l e 2,43 $KgCO_2$/l) são inferiores aos fatores indicados pelo DEFRA (2,73 $KgCO_2$/l e 2,71 $KgCO_2$/l). Isso pode indicar que a tecnologia dos veículos fabricados no Brasil é um pouco superior em relação aos veículos da Europa com relação a emissão de CO_2.

Tabela 2 – Emissão de CO_2 da Frota considerando diferentes combustíveis

Diesel	Diesel S10
Emissão CO_2 ($KgCO_2$)	Emissão CO_2 ($KgCO_2$)
134.331	120.451
171.102	153.423
152.524	136.765
457.957	410.640

Fonte: Autores.

A tabela 2 indica também que a utilização de biodiesel S10 reduz a emissão de CO_2 em aproximadamente 47.317 kg ou 10,3% quando comparado ao diesel comum. Assim, a projeção do total de emissão de CO_2 por ano do sistema de distribuição analisado será de 1.832 toneladas com diesel comum e 1.643 toneladas de biodiesel S10. Verifica-se assim que o aumento do uso do biodiesel na frota tem um impacto positivo na redução da emissão de CO_2. Contudo, estudos indicam que apenas cerca de 4% das emissões são mitigadas quando o teor do biodiesel aumenta de 3% para 50% no diesel (BARTHOLOMEU, PÉRA & CAIXETA-FILHO, 2016). Isso indica que é preciso muito mais do que utilizar na frota brasileira em 100% de biodiesel.

Há dois aspectos principais do desempenho de GEE que têm importância para os gestores e para o público interessado (GHG Protocol, 2010). Um deles diz respeito ao impacto climático total da organização – isto é, a quantidade absoluta de emissões de GEE liberada à atmosfera, conforme calculado anteriormente. O outro diz respeito às emissões de GEE da organização normalizadas por alguma métrica que resulte em um indicador em forma

de razão (quociente). Assim, também deve ser calculado a quantidade total de emissão de CO_2 em relação ao total de toneladas transportada no período para se ter uma dimensão das diferenças entre os dois tipos de combustíveis. Para os veículos utilizando diesel comum são emitidos 20,06 kg de CO_2 por cada tonelada transportada no período. Já para os veículos utilizando biodiesel S10 são emitidos 17,99 kg de CO_2 por tonelada transportada no período.

5. CONCLUSÕES

A greve dos caminhoneiros no ano de 2018 escancarou a enorme dependência que o Brasil tem do modal rodoviário, cujo principal insumo é o óleo diesel. O Brasil é um dos maiores emissores de CO_2 no transporte de cargas pois a sua matriz de transporte tem 65% do volume transportado pelo modal rodoviário. Apesar de existirem ações para aumentar a utilização de combustíveis com menor potencial de emissão de gases como CO_2 para mitigar o efeito estufa, verifica-se uma limitação nessa estratégia de aumento do teor de biodiesel no diesel. É preciso pensar em soluções como na redução da dependência do modal rodoviário, bem como a eletrificação da logística, que reduzam essa dependência, mas sem aumentar os custos do transporte de cargas.

Enquanto políticas para a mudança das diminuições de emissões globais não apresentem mudanças significativas e forma rápida, é necessário que as empresas possam se conscientizar da relevância que as mesmas têm neste contexto, e definir o melhor método para calcular a emissão CO_2, em empresas de transporte rodoviário de cargas é uma necessidade. Logo, as recomendações apresentadas nesta pesquisa fornecem uma abordagem simples e transparente com elementos facilmente encontrados nas empresas de transportes e que pela simplicidade da abordagem recomendada, essas empresas têm uma chance realista de implementação.

Se faz necessário abordar o compromisso brasileiro assumido para a redução de emissão de gases de efeito estufa (COP21), o que leva a modificação da forma como o país se compromete a traçar estratégias para redução das emissões de poluentes. São necessárias ações para a diminuição de emissões brasileiras tenha um maior envolvimento por parte do governo e empresas. De todo modo, o principal resultado do Acordo de Paris é o sinal de que a transição dos combustíveis fósseis para uma economia mundial de baixo carbono desta vez realmente começou e vai acontecer frente às metas propostas para redução de emissões de poluentes.

Por tanto, a partir de uma gama tão ampla de métodos e ferramentas de cálculo disponível para fazer o cálculo e a comparação direta dos resultados, mesmo para cadeias de suprimentos mais comuns, tornam-se uma tarefa árdua, o que a partir da utilização de métodos mais simples, com ferramentas e metodologias básicas, permitem fazer a escolha e a tomada de decisões mais fáceis para os gestores das organizações.

REFERÊNCIAS

[1] ALVARES JR., O. M.; LINKE, R. R. A. (2001). “Metodologia Simplificada de Cálculo das Emissões de Gases do Efeito Estufa de Frotas de Veículos no Brasil”, Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, vol.11, n.2, Rio de Janeiro.

[2] AUVINEN, H.; MÄKELÄ, K., LISCHKE, A.; BURMEISTER, A.;DE REE, D.; TON, J.(2011). COFRET D2.1 Existing methods and tools for calculation of carbon footprint of transport and logistics.

[3] BARTHOLOMEU, D.B.; CAIXETA-FILHO, J.V. (2009). Quantification of the environmental impacts of road conditions in Brazil. Ecological Economics, 68, p. 1778–1786.

[4] BARTHOLOMEU, D.B.; PÉRA, T.G.; CAIXETA-FILHO, J.V. (2016). Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO2 no transporte rodoviário de cargas. Journal of Transport Literature, 10(3), 15-19.

[5] CNT. Boletins técnicos, Brasília, DF, jan. 2021.Disponível em: http://www.portaludop.com.br/boletins-arquivos/162/2021/boletim_unificado_cnt_jan2021.pdf. Acesso em: 07 jun. 2022.

[6] CRUVINEL, PINTO & GRANEMANNE (2012). Mensuração econômica da emissão de CO2 da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. Journal of Transport Literature, 6(2), pp. 234-252.

[7] DEFRA (The Department for Environment, Food and Rural Affairs) (2015). Guidance on Measuring and Reporting Greenhouse Gas (GHG) Emission s from Freight Transport Operations.

[8] EPA, (2005). Emission Facts: Average Carbon Dioxide Emissions Resulting from Gasoline and Diesel Fuel. United States Environmental Protection Agency EPA), Washington (2005).

[9] Global Logistics Emission Council (GLEC) (2016). Framework for Logistics Emissions Methodologies, Amsterdan: Smart Freight Center.

[10] GHG Protocol. (2010). Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf. Acesso em: 23 abril. 2020.

[11] IBGE (2019). PIB cresce 1,1% em 2018 e fecha ano em R$ 6,8 trilhões. Estatisticas Economicas. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23886-pib-cresce-1-1-em-2018-e-fecha-ano-em-r-6-8-trilhoes. Acesso em: 01/05/2020.

[12] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Core Writing Team: R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland. http://ar5-syr.ipcc.ch/.

[13] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2016). CO2 emissions from fuel combustion by sector in 2014, in CO2 Emissions from Fuel Combustion, IEA, 2016. In CO2 Highlights 2016 - Excel tables. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/co2-emissions-from-fuel-combustion-highlights-2016.html.

[14] IPEA (2011). Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios / editores: Ronaldo Seroa da Motta [et al.]. Brasília: Ipea, 2011.

[15] LEONARDI, J.; BAUMGARTNER, M. (2004). CO2 efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 9(6), p. 451-464.

[16] LEONARDI, J.; MCKINNON, A. & PALMER A. (2010). Guidance on measuring and reporting greenhouse gas (GHG) emissions from freight transport operations. Tech Rep, The UK's Department for Transport (DfT)

[17] LOO, R. (2009) A Methodology for Calculating CO2 Emissions From Transport and an Evaluation of the Impact of European Union Emission Regulations. Partial fulfillment of the requirements for the degrees of Master Science in Operations Management and Logistics. Technische Universiteit Eindhoven. Disponível em <http://alexandria.tue.nl/extra1/afstversl/tm/te%20Loo%202009.pdf>. Acesso em 24/05/2019.

[18] MCKINNON, A.C. (2010), Product-level carbon auditing of supply chains: environmental imperative or wasteful distraction?' International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 40, 1-2, pp.42-60.

[19] NTM Road (2008). Environmental data for international cargo transport – road transport". NTM, 2008.

[20] OECD/ITF (2017), ITF Transport Outlook 2017, OECD Publishing, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/9789282108000-en

[21] PLAZA, C. V. et al. Economic and environmental location of logistics integration centers: the Brazilian soybean transportation case. TOP 28, p. 749–77, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11750-020-00566-x

[22] RIZET, C.; CRUZ, M.; MBACKÉ, M. (2012). Reducing Freight Transport CO2 Emissions by Increasing the Load Factor. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 48, p.184-195.

[23] SEEG (2018). Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos: Documento de Análise. Brasília. Disponível em: http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios-SEEG-2018-Energia-Final-v1.pdf Acessado em 08 de abril de 2020.

[24] SEEG. Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos: documento de análise. Brasília, DF: SEEG, 2021. Disponível em: http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios-SEEG-2018-Energia-Final-v1.pdf. Acesso em: 02 abr. 2022.

[25] The CEN standard EN 16258. Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers).

[26] UNFCCC (2010). Modal shift transportation from road modal to a less intensive GHG emission. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

[27] WILD, P. Recommendations for a future global CO2-calculation standard for transport and logistics. Transportation Research Part D, v. 9, n. 6, p. 1-25, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103024.

Capítulo 5

Tratamento de águas residuais: Uma revisão sobre a adsorção do azul de metileno em bagaço de cana-de-açúcar

Kessi Jhony de Araújo Silva
Micaelli Ciane Sobrinho de Sousa
Magno de Lima Silva
Wellyson Jorney dos Santos Silva
Maria Lúcia da Silva Rodrigues

Resumo: O descarte incorreto de corantes orgânicos em corpos hídricos pode resultar em danos ambientais irreversíveis. Neste cenário, a adsorção tem sido empregada como uma técnica simples e economicamente viável para a descontaminação de água, pois permite utilizar diferentes tipos de resíduos, incluindo o bagaço da cana-de-açúcar, como material adsorvente. Portanto, este estudo traz informações da literatura sobre o processo de adsorção do azul de metileno, utilizando como matriz adsorvente o bagaço da cana-de açúcar, cujo apresentou alta capacidade de adsorção, principalmente quando submetido a tratamentos físico-químicos, ou mesmo in natura. O estudo revelou que concentrações elevadas do adsorbato e do adsorvente favorecem o teor de remoção (%) e que o emprego de pH básico beneficia a cinética de adsorção, que segue modelo de pseudo segunda-ordem. A isorterma de Langmuir foi, majoritariamente, o modelo mais adequado, corroborando que a interação entre adsorbato e adsorvente ocorre em monocamadas e é do tipo química.

Palavras-chave: adsorção, efluentes industriais, corantes, azul de metileno, bagaço de cana-de-açúcar.

1. INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento das atividades industriais tem provocado o aumento da geração de resíduos que pode culminar em fortes impactos ambientais (PIZATO, LOPES, ROCHA, BARBOSA & CUNHA, 2017). Os efluentes industriais representam uma parcela expressiva dos resíduos danosos liberados ao meio ambiente, sendo que a industrial têxtil é uma das principais responsáveis pela produção desse tipo específico de resíduo (FERREIRA, ROCHA, SANTOS, SANTOS & PITANGA, 2018).

Os efluentes gerados pela indústria têxtil são ricos em corantes orgânicos, cujos são caracterizados como uma das principais fontes de contaminação de águas naturais. Embora essas substâncias sejam empregadas por outros ramos industriais em diversas formulações, principalmente para melhorar a aparência de seus produtos, a maior parte da produção mundial dos corantes, que se aproxima de 700 mil ton/ano, é destinada à indústria têxtil (BURKINSHAW & SALIHU, 2013).

Estima-se que cerca de 1 mil ton/ano de corantes são descartados junto aos despejos da indústria têxtil, uma vez que boa parte do corante aplicado aos tecidos não se fixa totalmente, sendo eliminado em forma de efluente ao final do processo. O despejo desses resíduos em cursos de águas naturais prejudica sua qualidade em diversos níveis, desde a alteração da cor até a destruição de ecossistemas aquáticos (TKACZYK, MITROWSKA & POSYNIAK, 2020).

Alguns estudos (BORBA et al., 2012; MOHAMMADI, KHANI, GUPTA, AMEREH & AGARWAL, 2011) evidenciam ainda que o descarte inadequado de corantes orgânicos em águas naturais causa graves problemas ao meio ambiente, pois a maioria são tóxicos e altamente resistentes à degradação, podendo provocar a destruição de organismos aquáticos, uma vez que impossibilitam a penetração da luz solar naquele meio. Além disso, a exposição excessiva aos corantes pode acarretar aos organismos vivos irritações cutâneas, problemas respiratórios, efeitos mutagênicos e carcinogênicos (VARGHESE, PAUL & LATHA, 2019).

Dentre os corantes mais utilizados na indústria têxtil, o azul de metileno tem ganhado espaço nas diferentes áreas de pesquisas, podendo ser utilizado como um poluente modelo em estudos de adsorção para tratamento de efluentes têxteis (ELTAWEIL, ELGARHY, EL-SUBRUITI & OMER, 2020). O azul de metileno caracteriza-se como um corante orgânico catiônico, solúvel em água e pouco tóxico (SABAR et al., 2020).

Apesar de sua baixa toxicidade, a remoção do azul de metileno de águas e efluentes é bastante estudada devido ao fato desse corante se constituir como uma molécula modelo com as bandas de absorção bem conhecidas e em regiões distintas do espectro de UV-Vis (LONGHINOTTI, 1996). Com base nos estudos de remoção desse corante de águas residuais, novas técnicas podem ser desenvolvidas ou otimizadas para a remoção de outros corantes empregados na industrial têxtil, ou mesmo para a remoção de outras espécies químicas semelhantes.

O crescente interesse em relação ao tratamento dos descartes de efluentes industriais, tanto pelos órgãos ambientais, quanto pelas próprias indústrias, elevou a quantidade de estudos direcionados a novos métodos de tratamentos. Dos quais, encontra-se a técnica de adsorção, que é um método de separação de um ou mais componentes que são fixados por meio de ligações químicas ou físicas em um meio adsorvente (COSTA, FURMANSKI & DOMINGUINI, 2015). Esta técnica é relativamente simples e economicamente viável, pois possibilita o uso de resíduos como meio adsorvente. Desta forma, diversos materiais, tais

como, argilas (SARTORI, MORAIS, CONSOLIN-FILHO, MARQUES & GESSNER, 2011), bagaço de cana-de-açúcar (JORGE, TAVARES, & SANTOS, 2015) e carvões ativados de diversos materiais precursores, têm sido estudados nos processos de adsorção de contaminantes orgânicos (GONÇALVES et al., 2007).

Dentre esses materiais, o bagaço da cana-de açúcar tem se destacado em aplicações onde é utilizado como material adsorvente. Esse resíduo é o principal subproduto da indústria de cana-de-açúcar, sendo considerado um dos maiores resíduos agrícolas do Brasil (OLIVEIRA, SANTOS, SILVA, SILVA & RUZENE, 2019). Contém bastante celulose em sua composição e é altamente utilizado na produção de combustíveis e ração animal (SIDDIQUI et al., 2022). Nos últimos anos, tem sido utilizado como adsorvente de contaminantes ambientais, tanto na sua forma natural, quanto com tratamentos que aumentam a sua capacidade de adsorção (GE et al., 2017 & SIDDIQUI et al., 2002). Desta forma, o presente estudo visa fornecer uma revisão de literatura sobre o uso do bagaço de cana-de-açúcar na remoção de azul de metileno, compilando dados referentes a cinética de adsorção, modelos cinéticos, capacidade de adsorção e influência dos principais fatores inerentes ao processo de adsorção desse material frente ao azul de metileno.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CORANTES ORGÂNICOS

Atualmente, são produzidos mais de 10 mil tipos de corantes em todo o mundo, o equivalente a cerca de 700 mil ton/ano. No Brasil, este número se aproxima a cerca de 26,5 mil ton/ano (BURKINSHAW et al., 2013). Além das aplicações nas atividades de indústrias têxteis, os corantes são amplamente empregados em outros setores, tais como na construção civil (tintas e vernizes), nas áreas gráficas e fotográficas (tintas, papéis), na forma de aditivos (derivados de petróleo), nas indústrias de cosméticos (maquiagens, cremes, etc.) e alimentícias (alimentos e bebidas) (FERREIRA et al., 2018).

Esses materiais podem ser quimicamente classificados de acordo com sua estrutura molecular. As principais classes são: (a) corantes que contêm grupos funcionais aniônicos: se fixam a fibras e outros materiais que possuem ou desenvolvem cargas positivas; (b) corantes que contêm grupos funcionais catiônicos: se fixam a fibras e outros materiais que possuem ou desenvolvem cargas negativas e (c) corantes que requerem reação química antes de sua aplicação (SOUZA, 2013).

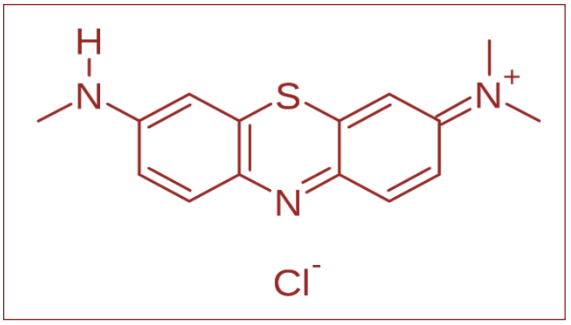
Grande parte desses corantes utilizados pelas indústrias são descartados nos corpos hídricos, constituindo um sério problema ambiental. Por serem visualmente detectáveis, ainda que presentes em quantidades mínimas, esses materiais geram de início, apenas problemas de natureza estética, mas ao decorrer do tempo resultaram em graves impactos ambientais (BURKINSHAW et al., 2013).

As principais características que tornam essas substâncias danosas aos corpos hídricos estão relacionadas a sua estrutura química estável. Muitos dos corantes apresentam alta resistência à fotodegradação e biodegradação, bem como a ação de agentes oxidantes. Alguns desses materiais quando submetidos a tratamento convencionais e a produtos originados da degradação incompleta, resultam em novas moléculas com efeitos nocivos, mutagênicos e carcinogênicos aos organismos vivos (PIZATO et al., 2017).

2.2. AZUL DE METILENO

O azul de metileno, cuja estrutura molecular está representada na Figura 1, é um exemplo de corante orgânico altamente estável frente as mais variadas formas de degradação. Este corante caracteriza-se um composto químico aromático heterocíclico, inodoro e solúvel em água, de fórmula química $C_{16}H_{18}N_3SCl$ que em meio aquoso produz o cátion $C_{16}H_{18}N_3S^+$ (SILVA JUNIOR et al., 2022).

Figura 1: Estrutura molecular do corante azul de metileno



Na indústria têxtil, o azul de metileno é muito utilizado para tingir seda e algodão (MORENO, FIGUEROA, & HORMAZA, 2012). Mas, além disso, esse corante ainda possui aplicações em outros setores industriais, sendo bastante utilizado como desinfetante, antisséptico, como traçador de águas contaminadas, em análises microbiológicas, além de análises de ácido ascórbico, peróxidos e detergentes (GONSALVES, LEITE FILHO, MEDEIROS & ARAÚJO, 2014). As propriedades físico-químicas do azul de metileno encontram-se apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Estudo da influência do tempo na degradação da glicose

Propriedades físico-químicas	Especificações
Ponto de fusão	180°C (decompõe-se)
Densidade	400-600 kg/m^3
Solubilidades	50 g/L (20°C)
λ de máxima absorbância	660-665 nm
Massa molar	319,85 g/mol

Caso seja descartado diretamente nos corpos hídricos, sem um tratamento prévio adequado, esse corante pode causar alterações na coloração da água, dificultando a fotossíntese dos organismos aquáticos. Além disso, pode ainda provocar danos à saúde humana, uma vez que, embora não seja muito tóxico, o azul de metileno apresenta relativo potencial mutagênico e carcinogênico (CATELAN & MENDES, 2019).

A remoção natural dessa substância torna-se difícil devido a sua estabilidade a luz, ao calor e aos agentes oxidantes. As técnicas existentes mais empregadas para remoção de corantes de águas residuais englobam floculação, processos oxidativos, processos de troca iônica e filtração (SILVA JUNIOR et al., 2022). Todavia, esses métodos apresentam alto custo e nem sempre se obtém os melhores resultados, sendo que quase sempre são

acompanhados pela formação de subprodutos poluentes. O método de adsorção, no entanto, tem se revelado promissor para a remoção de corantes orgânicos e de outros contaminantes de águas residuais, apresentando alta eficiência e viabilidade econômica (MPATANI et al., 2020).

2.3. ADSORÇÃO

A adsorção é um método físico-químico que consiste na separação de um ou mais componentes químicos, denominados de adsorbatos, presentes em um determinado meio, que são fixados por meio de interações físicas ou químicas em um material adsorvente (AL-GHOUTI & DA'ANA, 2020). Este método apresenta grande aplicabilidade industrial, sobretudo nos setores químicos, petroquímicos e bioquímicos por sua praticidade, baixo custo e alta eficiência (GONSALVES et al., 2014).

Os processos adsortivos podem ser classificados em químicos ou físicos, a depender da natureza das forças envolvidas. Na adsorção física ocorrem interações fracas entre o adsorbato e o adsorvente, tipificadas como forças de Van der Waals. Já na adsorção química ocorrem interações fortes, onde as moléculas ou átomos se ligam à superfície do adsorvente através de ligações químicas, com tendências de se situarem em sítios que possibilitem um elevado número de coordenação com o material adsorvente (LIMA et al., 2018).

Para que se processe a adsorção em fase líquida, é necessário que haja o contato entre o material adsorvente e um fluido, onde ocorrerá a transferência de massa da fase fluida para a superfície do sólido, uma vez que, as moléculas presentes nesta fase são atraídas para a zona interfacial do sólido, devido a existência de forças atrativas não compensadas na superfície do material adsorvente (OLIVEIRA, 2013).

O estudo de alguns parâmetros relacionados a processos adsortivos faz-se necessário quando se trabalha com adsorção. Analisar a influência de parâmetros como tratamento do adsorvete, efeito do pH do meio, efeito da concentração inicial do adsorbato e dosagem do adsorvente, são de fundamental importância para determinar a eficiência do processo e sua viabilidade de aplicação (NASCIMENTO, LIMA, VIDAL, MELO & RAULINO, 2018).

Além disso, estudar a cinética de adsorção também é crucial para a compreensão do mecanismo de processamento do método adsortivo. Dessa forma, modelos cinéticos e de equilíbrio foram criados para representar matematicamente o mecanismo de adsorção de um determinado material. Normalmente, processos de interação em fase líquida são descritos através dos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, e as isotermas de adsorção, por sua vez, são descritas pelos modelos de Langmuir, Freundlich e Sips, dentre outros (MOURA, 2011).

Para a realização prática de processos adsortivos é necessário um bom material adsorvente. A natureza físico-química deste material é um fator primordial, pois a capacidade da taxa de adsorção resulta da área superficial específica, porosidade, volume e distribuição dos poros do adsorvente, bem como da presença de grupos funcionais localizados na superfície do material (NASCIMENTO et al., 2018).

2.4. CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma cultura vegetal originária da Indonésia e Nova Guiné e largamente cultivada no Brasil, que muito tem ganhado destaque nos processos adsortivos. Essa

cultura vegetal caracteriza-se como uma gramínea pertencente à família das *Poáceas* e ao gênero *Saccharum*. É constituída essencialmente de duas partes: uma subterrânea, compostas pelos rizomas e pelas raízes e, outra, aérea, pelo colmo, folhas e flores (XAVIER, CRISPINIANO, NASCIMENTO, ALMEIDA & VIEIRA, 2021).

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar, e sua produção muito tem crescido ao longo dos últimos anos, sendo que a safra registrada para 2021/2022 chegou em torno de 654,8 milhões de toneladas (CONAB, 2022). Além disso, o país é também um dos maiores produtores de açúcar a partir dessa matéria-prima, atingindo em 2021 uma produção de cerca de 30,14 milhões de toneladas de açúcar (SILVA, GUEDES, GURGEL, & COSTA, 2021). Além da produção de açúcar, essa cultura vegetal é altamente empregada na produção de combustível, ração animal, dentre outras aplicações (SIDDIQUI et al., 2022).

Contudo, no processamento da cana-de-açúcar, após a moagem, há a geração do bagaço da cana-de-açúcar, cujo constitui o principal subproduto da indústria sucroalcooleira, sendo considerado um dos maiores resíduos agrícolas do mundo (GE et al., 2017). Esse subproduto é constituído em sua maior parte por celulose, sendo que os percentuais atribuídos a sua composição correspondem a cerda de 50% de celulose, 27% de hemicelulose e 23% de lignina.

Geralmente, parte do subproduto obtido no processamento da cana-de-açúcar é destinado à queima para a produção de energia para a própria industrial (XAVIER et al., 2021). Entretanto, a literatura científica tem apontado a utilização desse resíduo como material adsorvente promissor para a adsorção de contaminantes ambientais, tanto em sua forma *in natura*, quanto modificado (MEILI et al., 2019; LYU et. al., 2018 & MPATANI et al., 2020).

3. METODOLOGIA

O presente estudo se caracteriza como uma revisão de literatura de cunho exploratório e foi elaborado utilizando as bases de dados Science Direct, Capes e PubMed. As buscas foram realizadas empregando individualmente, em língua inglesa, as seguintes palavras-chaves: adsorption (adsorção), sugarcane bagasse (bagaço de cana-de-açúcar) e methylene blue (azul de metileno). Milhares de artigos foram listados para cada uma das entradas em todas as bases de dados. Dessa maneira, foi necessário realizar um refinamento das buscas utilizando as mesmas palavras-chaves, contudo, empregando-as em pares e estabelecendo os seguintes critérios: ano de publicação de 2017-2021; leitura do título e leitura do resumo.

As buscas foram realizadas no período corresponde ao segundo semestre de 2022 e possibilitou a seleção de um total de 52 artigos, todos publicados em língua inglesa. Após a seleção, realizou-se um novo refinamento dos dados através da leitura completa de cada artigo, a fim de selecionar aqueles que apresentassem dados mais completos e conclusivos quanto ao processo de adsorção do corante azul de metileno. A quantidade de artigos revisados foi limitada, de acordo com esse critério, a um total de 10 artigos, que se encontram listados no Quadro 1.

Os elementos abordados na sistematização dos resultados centraram-se nos métodos de tratamento do adsorvente, eficiência do método de adsorção, efeito do pH, efeito da concentração inicial do adsorbato, dosagem do adsorvente, cinética e isotermas de adsorção.

Quadro 1 - Relação de artigos revisados

Código referencial	Referência bibliográfica
1)	Pereira da Silva, C., Oliveira da Guarda Souza, M., Lopes dos Santos, W. N., & Oliveira Bastos Silva, L. (2019). Optimization of the Production Parameters of Composites from Sugarcane Bagasse and Iron Salts for Use in Dye Adsorption. The Scientific World Journal, 2019.
2)	Zhou, F., Li, K., Hang, F., Zhang, Z., Chen, P., Wei, L., & Xie, C. (2022). Efficient removal of methylene blue by activated hydrochar prepared by hydrothermal carbonization and NaOH activation of sugarcane bagasse and phosphoric acid. RSC advances, 12(3), 1885-1896.
3)	Andrade Siqueira, T. C., Zanette da Silva, I., Rubio, A. J., Bergamasco, R., Gasparotto, F., Aparecida de Souza Paccola, E., & Ueda Yamaguchi, N. (2020). Sugarcane bagasse as an efficient biosorbent for methylene blue removal: kinetics, isotherms and thermodynamics. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(2), 526.
4)	Al-Mokhalelati, K., Al-Bakri, I., & Al Shibeh Al Wattar, N. (2021). Adsorption of methylene blue onto sugarcane bagasse-based adsorbent materials. Journal of Physical Organic Chemistry, 34(7), e4193.
5)	Meili, L., Lins, P. V. S., Costa, M. T., Almeida, R. L., Abud, A. K. S., Soletti, J. I. & Erto, A. (2019). Adsorption of methylene blue on agroindustrial wastes: experimental investigation and phenomenological modelling. Progress in biophysics and molecular biology, 141, 60-71.
6)	Lyu, H., Gao, B., He, F., Zimmerman, A. R., Ding, C., Tang, J., & Crittenden, J. C. (2018). Experimental and modeling investigations of ball-milled biochar for the removal of aqueous methylene blue. Chemical Engineering Journal, 335, 110-119.
7)	Mpatani, F. M., Aryee, A. A., Kani, A. N., Wen, K., Dovi, E., Qu, L. & Han, R. (2020). Removal of methylene blue from aqueous medium by citrate modified bagasse: kinetic, equilibrium and thermodynamic study. Bioresource Technology Reports, 11, 100463.
8)	Nugraha, M. W., Abidin, N. H. Z., & Sambudi, N. S. (2021). Synthesis of tungsten oxide/amino-functionalized sugarcane bagasse derived-carbon quantum dots (WO3/N-CQDs) composites for methylene blue removal. Chemosphere, 277, 130300.
9)	Ge, M., Du, M., Zheng, L., Wang, B., Zhou, X., Jia, Z. & Alam, S. J. (2017). A maleic anhydride grafted sugarcane bagasse adsorbent and its performance on the removal of methylene blue from related wastewater. Materials Chemistry and Physics, 192, 147-155.
10)	Siddiqui, M. F., Khan, S. A., Hussain, D., Tabrez, U., Ahamad, I., Fatma, T. & Khan, T. A. (2022). A sugarcane bagasse carbon-based composite material to decolor and reduce bacterial loads in waste water from textile industry. Industrial Crops and Products, 176, 114301.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. TRATAMENTO DO ADSORVENTE E CAPACIDADE DE ADSORÇÃO

Diversos fatores influenciam a eficiência de um processo de adsorção. A forma como o material adsorvente é empregado afeta diretamente as curvas de adsorção, principalmente quando se utiliza resíduos orgânicos como adsorventes (ABEGUNDE, IDOWU, ADEJUWON & ADEYEMI-ADEJOLU, 2020). Os dados da literatura apontam que o

bagaço da cana de açúcar foi empregado como material adsorvente sob diferentes formas de tratamento, conforme demonstra a Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação das capacidades máximas de adsorção do azul de metileno em bagaço de cana-de-açúcar sob diferentes formas de tratamento

Tratamento	Capacidade máxima de adsorção q_{max}(mg/g)	Código referencial
Compósito: bagaço ativado termicamente e funcionalizado com sais de ferro	5,84 mg/g	1)
Hidrocarvão de bagaço obtido por carbonização hidrotérmica utilizando H_3PO_4 e NaOH como ativadores	357,14 mg/g	2)
In natura	9,41 mg/g	3)
In natura e ativado basicamente.	In natura: 144,97 mg/g Ativado: 147,06 mg/g	4)
In natura	1272,19 mg/g	5)
Carvão ativado termicamente	354 mg/g	6)
Compósito: bagaço funcionalizado com citrato	239 mg/g	7)
Compósito: carvão ativado termicamente e funcionalizado com MgO e amino.	96,86%*	8)
Compósito: bagaço funcionalizado com enxertia de anidrido maleico	82 mg/g	9)
Compósito: biocarvão de baço funcionalizado com H_3PO_4 e $Al(OH)_3$	261 mg/g	10)

*Capacidade máxima de remoção em mg/g não fornecida pelo autor.

A partir desses dados é possível realizar uma comparação acerca dos valores das capacidades máximas de adsorção (q_{max}) e o tipo de tratamento do adsorvente. Foram utilizadas diferentes formas de tratamento para o bagaço da cana-de-açúcar, de modo que os diferentes tratamentos apresentaram comportamentos distintos quanto a capacidade de adsorção. Os tratamentos empregados com maior frequência reportados nos artigos revisados centram-se na produção de compósitos com matriz à base de bagaço de cana-de-açúcar (LYU *et al.*, 2018; MPATANI, *et al.*, 2020; NUGRAHA, ABIDIN, & SAMBUDI, 2021;

GE *et al*., 2017 & SIDDIQUI et al., 2022), ativados termicamente e funcionalizados com diferentes compostos químicos.

Ao analisar a quantidade de corante adsorvida pelo tipo de tratamento empregado no bagaço de cana-de-açúcar, constata-se que os melhores resultados para a capacidade máxima de adsorção foram obtidos através da carbonização hidrotérmica, ativado com ácido fosfórico (H_3PO_4) e hidróxido de sódio (NaOH) (357,14 mg/g)[2] (ZHOU *et. al*., 2022) e através do bagaço *in natura* (1272,19 mg/g)[5] (MEILI *et. al*., 2019). Estes resultados mostram que o tratamento citado acima foi eficiente para a ativação do adsorvente e remoção do corante azul de metileno, mas que também a utilização desse material in natura, por si só já é eficiente e varia a depender de condições como concentração inicial do corante e dosagem do adsorvente empregadas no processo (Tabela 4, código referencial 3, 4 e 5).

Com base nos resultados analisados é possível inferir que em termos de capacidade máxima de adsorção, o bagaço de cana-de-açúcar apresenta um bom desempenho adsortivo, ao passo em que fornece altos valores de remoção do corante azul de metileno.

Esses dados são considerados positivos, uma vez que os valores de qmax apontados nos estudos de adsorção com o bagaço da cana-de-açúcar são, em alguns casos, superiores a resultados obtidos em estudos de adsorção do azul de metileno realizado em condições similares e utilizando carvão ativado comercial (149,25 e 298,4 mg/g), cujo se caracteriza como material adsorvente de referência para processos adsortivos (ABD RASHID, MOHD ISHAK, & MOHAMMED HELLO, 2018 & KANNAN & SUNDARAM, 2001).

4.2. EFEITO DO pH

Um fator de suma importância para a determinação da capacidade de adsorção de um adsorbato em meio aquoso é o pH do sistema. A variação do pH afeta o sistema de adsorção, na medida em que influencia na carga superficial e no grau de ionização do adsorvente (PENHA, MOURA & PAZ, 2021). A carga superficial do adsorvente atua, principalmente, no processo de adsorção de adsorbatos iônicos, de modo que o pH do ponto de carga zero (pHpcz) constitui-se como um parâmetro importante para elucidar o mecanismo e viabilidade do processo de adsorção.

O pHpcz corresponde ao pH da solução onde as cargas superficiais do material adsorvente são neutras. Dessa forma, quando o pH da solução for maior que pHpcz, a superfície do adsorvente estará carregada negativamente, logo a adsorção de adsorbatos catiônicos torna-se mais favorável. De modo contrário, a adsorção de adsorbatos aniônicos será favorecida quando o pH empregado for menor que o pHpcz (PENHA *et al*., 2021). Em síntese, a capacidade de remoção de adsorbatos aniônicos aumenta em pH baixo, enquanto a capacidade de remoção de adsorbatos catiônicos aumenta em pH alto.

Tendo em vista que o azul de metileno se caracteriza como um corante catiônico, é possível constatar através dos dados fornecidos na Tabela 3, o efeito do pH no processo de adsorção do azul de metileno em materiais adsorventes tendo como matriz o bagaço da cana-de-açúcar, com ou sem tratamento. Ressalta-se que nem todos os artigos revisados não apresentaram dados sobre o pH empregado nas análises.

Tabela 3 - Efeito do pH da solução na adsorção do corante azul de metileno em adsorvente a base de bagaço da cana-de-açúcar

Intervalo de pH investigado	Comportamento do % de remoção	Código referencial
2-11	Aumentou	2)
5-9	Aumentou	4)
5,5*	Favoreceu	5)
1,8-9,8	Aumentou	6)
2-12	Aumentou	7)
2-10	Aumentou	9)
2-10	Aumentou	10)

*Os ensaios adsortivos foram realizados sem a variação do pH.

Como esperado, a porcentagem de remoção do corante azul de metileno da solução aquosa aumentou à medida em que se elevou o pH. Esse comportamento se deve ao fato do aumento do pH proporcionar o aumento de grupos OH- que são responsáveis por ocupar os sítios ativos do adsorvente com carga superficial positiva por meio de atrações eletrostáticas. Esse tipo de interação neutraliza as cargas superficiais positivas do adsorvente e torna a área superficial carregada negativamente (PENHA *et al*., 2021), o que favorece a adsorção do azul de metileno que é um composto catiônico. Desse modo, pode-se inferir que a adsorção do azul de metileno em adsorventes com matrizes a base de bagaço de cana-de-açúcar tendem a ser favoráveis em pH alcalino.

4.3. EFEITO DA CONCENTRAÇÃO INICIAL DO ADSORBATO E DOSAGEM DO ADSORVENTE

A concentração inicial do adsorbato e a dosagem do adsorvente influenciam diretamente em um sistema de adsorção. Sabe-se que o aumento da dosagem do adsorvente implica no aumento da porcentagem de remoção do corante, visto que há mais sítios disponíveis para a adsorção (COSTA, et al., 2015). Em paralelo, o aumento da concentração do corante possibilita uma maior interação com o adsorvente, permitindo que esse chegue ao ponto de equilíbrio mais rapidamente, de onde se obtém a quantidade máxima de adsorção (MPATANI *et al*., 2020).

Todavia, um sistema adsortivo considerado ideal em termos econômicos, é aquele em que pequenas dosagens de adsorvente possibilitem um elevado teor de remoção do adsorbato, diminuindo assim os custos do processo. Por meio da Tabela 4 é possível analisar a influência da variação da concentração inicial do adsorbato e a variação da dosagem do adsorvente no teor de remoção (%) do corante azul de metileno. Além disso, pode-se verificar as respectivas concentrações e dosagens utilizadas no processo.

Tabela 4 - Relação entre concentração inicial do adsorbato e dosagem do adsorvente na remoção do corante azul de metileno

Concentração inicial do corante (mg L^{-1}) / remoção (%) com a variação	Dosagem do adsorvente (g) / remoção (%) com a variação	Código referencial
1-6 mg L^{-1} / aumentou	0,1 g* / favoreceu	1)
150-450 mg L^{-1} / aumentou	0,04 g* / favoreceu	2)
1-20 mg L^{-1} / aumentou	2 g L^{-1}* / favoreceu	3)
100-500 mg L^{-1} / aumentou	0,02-0,2 g / aumentou	4)
50-200 mg L^{-1} / aumentou	0,1-0,75 g / aumentou	5)
10-200 mg L^{-1} / aumentou	0,18 g* / favoreceu	6)
25-300 mg L^{-1} / aumentou	0,002-0,02 g / aumentou	7)
5-50 mg L^{-1} / aumentou	0,6 g L^{-1}* / favoreceu	8)
25-400 mg L^{-1} / aumentou	2,5-20 g L^{-1} / aumentou	9)
70-120 mg L^{-1} / diminuiu	0,2-1,2 g L^{-1} / aumentou	10)

*Ensaio realizado sem variação de parâmetro.

De acordo com os dados expostos, pode-se inferir que na maioria dos estudos, tanto a variação da concentração inicial do adsorbato, quanto a variação da dosagem do adsorvente favoreceram o teor de remoção (%) do corante azul de metileno, de modo que é possível estabelecer entre ambas, uma relação direta de proporcionalidade. O aumento no percentual de remoção do azul de metileno resultante da elevação da concentração inicial desse corante, ocorre devido a potencialização da interação entre adsorbato e adsorvente que é provocada com a acréscimo de partículas do corante naquele meio (GU, YANG, WANG & HAN, 2019). Já o aumento no percentual de remoção provocado com a elevação da massa do adsorvente resulta da maior disponibilidade de sítios ativos provenientes do material adsorvente (MPATANI *et al*., 2020).

Além disso, é possível constatar que em todos os casos a dosagem do adsorvente empregada é mínima quando comparada com a concentração do adsorbato, contudo, ainda assim a adsorção ocorreu de forma eficiente, permitindo determinar a viabilidade do processo. Neste sentido, estudar a influência da variação da concentração inicial do adsorbato e a dosagem do adsorvente sobre o teor de remoção (%) do adsorbato é essencial para a operacionalização de processos adsortivos, pois esses parâmetros fornecem informações importantíssimas do ponto de vista experimental e econômico (PENHA *et al*., 2021). É possível, através dessas informações, projetar os sistemas para minimizar desperdícios e elevar a eficiência do processo de adsorção.

4.4. MODELOS CINÉTICOS E ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

A cinética de adsorção, isto é, a capacidade de adsorção do adsorvente em função do tempo de contato é um parâmetro fundamental para a operacionalização de um processo adsortivo em grande escala (GONSALVES *et al*., 2014). Além de possibilitar definir o tempo de equilíbrio onde o sistema atinge o ponto máximo de adsorção, os estudos cinéticos permitem ainda aplicar os dados em uma modelagem matemática que possibilita entender a forma de interação entre adsorvente e adsorbato (COSTA, *et al*., 2015). Os dados relatados na revisão referentes aos modelos cinéticos e a isotermas de adsorção podem ser analisados na Tabela 5.

Tabela 5 - Modelos cinéticos e isotermas de adsorção do azul de metileno em adsorvente a base de bagaço de cana-de-açúcar

Concentração inicial do corante (mg L^{-1}) / remoção (%) com a variação	Dosagem do adsorvente (g) / remoção (%) com a variação	Código referencial
Pseudo segunda-ordem	Langmuir	2)
Pseudo segunda-ordem	Sips	3)
Pseudo segunda-ordem	Langmuir	4)
Pseudo segunda-ordem	Redlich-Peterson	5)
Pseudo segunda-ordem	Langmuir	6)
Pseudo segunda-ordem	Freundlich	7)
Pseudo segunda-ordem	*	8)
Pseudo segunda-ordem	Langmuir	9)
Pseudo segunda-ordem	Langmuir	10)

*Ensaio realizado sem variação de parâmetro.

Conforme esses dados, é possível constatar que os resultados obtidos pelos estudos cinéticos demonstraram que a modelagem cinética que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo cinético de pseudo segunda-ordem. Em todos os casos analisados esse modelo foi o que proporcionou o melhor ajuste, indicando que ocorreu uma interação majoritariamente do tipo química entre o azul de metileno e os adsorventes empregados (MPATANI *et al*., 2020).

Os modelos isotérmicos de adsorção, que fornecem informações acerca do mecanismo de adsorção, variaram a depender da estrutura matricial do adsorvente. Analisando a Tabela 5, é possível constatar que dentre todos os modelos isotérmicos apresentados o modelo de Langmuir é o que melhor se adequada na maioria dos estudos, o que sugere que as partículas do azul de metileno são adsorvidas na superfície do adsorvente em monocamada, possuem energia equivalente e não interagem entre si, confirmando que a adsorção entre o corante e adsorvente é do tipo química (PENHA *et al*., 2021). Dessa

maneira, conclui-se que a adsorção do azul de metileno em adsorventes a base de bagaço de cana-de-açúcar, conforme os artigos revisados, segue um mecanismo de monocamadas, caracterizando-se como uma adsorção química.

5. CONCLUSÕES

O presente artigo de revisão fornece informações gerais e específicas sobre a remoção adsortiva do corante azul de metileno utilizando o bagaço de cana-de-açúcar sob diferentes tratamentos. A eficácia do processo de adsorção foi discutida com base nas condições experimentais, incluindo efeito do pH, efeito da concentração inicial do corante e da dosagem de adsorvente, estudos cinéticos e isotérmicos de adsorção. A partir da literatura revisada, foi possível observar que o bagaço de cana-de-açúcar é um adsorvente promissor, pois apresenta bons resultados experimentais, além de ser economicamente viável, pois tanto o material in natura, quanto com o mínimo de tratamento, fornece altos valores de quantidade adsorvida.

O pH da solução teve forte influência no processo de adsorção, sendo que com o aumento do pH aumentou também a capacidade de adsorção. Em relação a variação da concentração inicial adsorbato e dosagem do adsorvente, foi observado que o aumento de ambos os fatores influencia aumentando o teor de remoção (%) do corante azul de metileno. Foi possível constatar ainda que com pequenas dosagens do material adsorvente, a adsorção ocorreu de forma eficiente, fator que contribui para a redução dos custos do processo. Os modelos cinéticos também foram observados nas literaturas abordadas, e mostraram que a isoterma de Langmuir foi o modelo que mais se adequou ao sistema estudado, informando que o azul de metileno é adsorvido em monocamada pelo bagaço da cana-de-açúcar, o que indica que o adsorbato se une na superfície do adsorvente através de ligações químicas.

REFERÊNCIAS

[1] ABD RASHID, R.; MOHD ISHAK, M. A.; MOHAMMED HELLO, K. Adsorptive removal of methylene blue by commercial coconut shell activated carbon. Science Letters (ScL), v. 12, n. 1, p. 77-101, 2018.

[2] ABEGUNDE, S. M.; IDOWU, K. S.; ADEJUWON, O. M.; ADEYEMI-ADEJOLU, T. A. Review on the influence of chemical modification on the performance of adsorbents. Resources, Environment and Sustainability, v. 1, p. 100001, 2020.

[3] AL-GHOUTI, M. A.; DA'ANA, D. A. Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. Journal of hazardous materials, 393, 122383. 2020.

[4] AL-MOKHALELATI, K.; AL-BAKRI, I.; AL SHIBEH AL WATTAR, N.; Adsorption of methylene blue onto sugarcane bagasse-based adsorbent materials. Journal of Physical Organic Chemistry, v. 34, n. 7, p. e4193, 2021.

[5] ANDRADE SIQUEIRA, T. C.; ZANETTE, S. I.; RUBIO, A. J.; BERGAMASCO, R.; GASPAROTTO, F.; APARECIDA, S. P. E.; UEDA YAMAGUCHI, N. Sugarcane bagasse as an efficient biosorbent for methylene blue removal: kinetics, isotherms and thermodynamics. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 17, n. 2, p. 526, 2020.

[6] BORBA, C. E.; MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; BORBA, F. H.; BASSI, A. F.; RIBEIRO, C. Estudo da cinética e do equilíbrio de adsorção dos corantes azul turquesa QG e amarelo reativo 3R em carvão ativado. Engevista, v. 14, n. 2, 2012.

[7] BURKINSHAW, S. M.; SALIHU, G. The wash-off of dyeings using interstitial water. Part 4: Disperse and reactive dyes on polyester/cotton fabric. Dyes and pigments, v. 99, n. 3, p. 548-560, 2013.

[8] CATELAN, T. C.; MENDES, A. N. F. Produção de carvão ativado a partir da palha de milho e posterior utilização para remoção do corante azul de metileno de efluentes aquosos. Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE, 139-154. 2019.

[9] COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira grãos, cana-de-açúcar – safra 2021/2022 – Quarto levantamento, Brasília. 2022.

[10] COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. Revista virtual de química, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, 2015.

[11] ELTAWEIL, A. S. ELGARHY, G. S.; EL-SUBRUITI, G. M.; OMER, A. M. Carboxymethyl cellulose/carboxylated graphene oxide composite microbeads for efficient adsorption of cationic methylene blue dye. International journal of biological macromolecules, v. 154, p. 307-318, 2020.

[12] FERREIRA, W. M. ROCHA, L. B.; SANTOS, L. D.; SANTOS, B. L.; PITANGA, A. F. Corantes: Uma abordagem com enfoque ciência, tecnologia e sociedade (CTS) usando processos oxidativos avançados. Química nova na escola, v. 40, n. 4, p. 249-257, 2018.

[13] GE, M.; DU, M; ZHENG, L.; WANG, B.; ZHOU, X.; JIA, Z.; HU, G.; ALAM, S. J. A maleic anhydride grafted sugarcane bagasse adsorbent and its performance on the removal of methylene blue from related wastewater. Materials Chemistry and Physics, v. 192, p. 147-155, 2017.

[14] GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; BIANCHI, M. L.; OLIVEIRA, L. C. A.; PEREIRA, E. I.; DALLAGO, R. M. Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso. Ciência e agrotecnologia, v. 31, p. 1386-1391, 2007.

[15] GONSALVES, A. Casca do tamarindo: caracterização e estudos de adsorção de azul de metileno e cromo (VI) usando a técnica de banho finito de líquido. 2014.

[16] GU, Y.; YANG, M.; WANG, W.; HAN, R. Phosphate adsorption from solution by zirconium-loaded carbon nanotubes in batch mode. Journal of Chemical & Engineering Data, v. 64, n. 6, p. 2849-2858, 2019.

[17] JORGE, I. R; TAVARES, F. P.; SANTOS, K. G. dos. Remoção do corante azul de metileno no tratamento de efluentes por adsorção em bagaço de cana de açúcar. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 2, n. 1, p. 491-500, 2015.

[18] KANNAN, N.; SUNDARAM, M.; Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons—a comparative study. Dyes and pigments, v. 51, n. 1, p. 25-40, 2001.

[19] LIMA, L. M. R.; SILVA, J. D.; CAVALCANTE, L., SILVA, E. D.; LIMA, L. Avaliação do poder adsortivo da palma forrageira (Opuntia tuna mill) sem casca para uso na remoção de gasolina comum em corpos d'água. In III Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis e V Workshop de Engenharia de Petróleo, Salvador-BA, 2018.

[20] LONGHINOTTI, E. Adsorção dos corantes azul de metileno, alanjado G, alaranjado IV e alaranjado de xilenol pelo biopolimero quitina. 1996.

[21] LYU, H.; GAO, B.; HE, F.; ZIMMERMAN, A. R.; DING, C.; TANG, J.; CRITTERNDEN, J. C. Experimental and modeling investigations of ball-milled biochar for the removal of aqueous methylene blue. Chemical Engineering Journal, v. 335, p. 110-119, 2018.

[22] MEILI, L. LINS, P. V. S.; COSTA, M. T.; ALMEIDA, R. L.; ABUD, A. K. S.; SOLETTI, J. I.; ERTO, A. Adsorption of methylene blue on agroindustrial wastes: experimental investigation and phenomenological modelling. Progress in biophysics and molecular biology, v. 141, p. 60-71, 2019.

[23] MOHAMMADI, N.; KHANI, H.; GUPTA, V. K.; AMEREH, E..; AGARWAL, S. Adsorption process of methyl orange dye onto mesoporous carbon material–kinetic and thermodynamic studies. Journal of colloid and interface science, v. 362, n. 2, p. 457-462, 2011.

[24] MORENO, A.; FIGUEROA, D.; HORMAZA, A. Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz. Producción+ limpia, 7(1), 2012.

[25] Moura, K. O. Utilização de escamas do peixe corvina para adsorção de Cr (VI) em meio aquoso-cinética e termodinâmica por calorimetria isotérmica contínua. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Sergipe, 2011.

[26] MPATANI, F. M.; ARYEE, A. A.; KANI, A. N.; WEN, K.; DOVI, E.; QU, L.; LI, Z.; HAN, R. Removal of methylene blue from aqueous medium by citrate modified bagasse: kinetic, equilibrium and thermodynamic study. Bioresource Technology Reports, v. 11, p. 100463, 2020.

[27] NASCIMENTO, R. F. D.; LIMA, A. C. A. D.; VIDAL, C. B.; MELO, D. D. Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. E-book. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.

[28] NUGRAHA, M. W.; ABIDIN, N. H. Z.; SAMBUDI, N. S. Synthesis of tungsten oxide/amino-functionalized sugarcane bagasse derived-carbon quantum dots (WO3/N-CQDs) composites for methylene blue removal. Chemosphere, v. 277, p. 130300, 2021.

[29] OLIVEIRA, G. K. C. D.; SANTOS, C. V. M.; SILVA, I. P. D.; SILVA, D. P. D.; RUZENE, D. S. Resíduos agrícolas do nordeste brasileiro e seu potencial lignocelulósico. Energias alternativas: tecnologias sustentáveis para o nordeste brasileiro, 2019.

[30] OLIVEIRA, R. F. Estudo da adsorção de cromo hexavalente em altas concentrações. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

[31] PENHA, A. V. S.; MOURA, K. O.; PAZ, G. L. Tratamento de Águas Residuais: Uma Revisão sobre a Adsorção do Corante Preto de Amido 10B. Revista Virtual de Química, v. 13, n. 2, 2021.

[32] PEREIRA DA SILVA, Carine et al. Optimization of the Production Parameters of Composites from Sugarcane Bagasse and Iron Salts for Use in Dye Adsorption. The Scientific World Journal, v. 2019, 2019.

[33] PIZATO, E.; LOPES, A. C.; ROCHA, R. D. C.; BARBOSA, A. D. M.; CUNHA, M. A. A. D.; Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo Lasiodiplodia theobromae MMPI. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 22, p. 1027-1035, 2017.

[34] SABAR, S.; AZIZ, H. A.; YUSOF, N. H.; SUBRAMANIAM, S.; FOO, K. Y.; WILSON, L. D.; LEE, H. K. Preparation of sulfonated chitosan for enhanced adsorption of methylene blue from aqueous solution. Reactive and Functional Polymers, v. 151, p. 104584, 2020.

[35] SARTORI, R. A.; MORAIS, L. C. D.; CONSOLIN-FILHO, N.; MARQUES, D. D.; GESSNER, F. Adsorção do corante azul de metileno em partículas de argilominerais: análise dos tamanhos das partículas. Química nova, v. 34, p. 584-588, 2011.

[36] SIDDIQUI, M. F.; KHAN, S. A.; HUSSAIN, D.; TABREZ, U.; AHAMAD, I.; FATMA, T.; KHAN, T. A. A sugarcane bagasse carbon-based composite material to decolor and reduce bacterial loads in waste water from textile industry. Industrial Crops and Products, v. 176, p. 114301, 2022.

[37] SILVA J. O. J.; MOREIRA, C.; MONTEIRO, A.; MELO, V.; OLIVEIRA, J.; KULESZA, J. E.; BARROS, B. S. SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE Ca-MOFs NA REMOÇÃO DO AZUL DE METILENO POR ADSORÇÃO. Química Nova, 45, 507-517. 2022.

[38] SILVA, C. P. D.; GUEDES, C. A.; GURGEL, A. D. M.; COSTA, P. F. F. D. Condições de trabalho no cultivo da cana-de-açúcar no Brasil e repercussões sobre a saúde dos canavieiros. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 46.2021.

[39] SOUZA, N. K. Adsorção de corantes catiônicos e aniônicos em solução aquosa usando novos materiais bi-funcionalizados a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro Petro, 2013.

[40] TKACZYK, A.; MITROWSKA, K.; POSYNIAK, A. Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. Science of the total environment, v. 717, p. 137222, 2020.

[41] VARGHESE, A. G.; PAUL, S. A.; LATHA, M. S. Remediation of heavy metals and dyes from wastewater using cellulose-based adsorbents. Environmental Chemistry Letters, v. 17, p. 867-877, 2019.

[42] Xavier, C. S. F., Crispiniano, F. F., Nascimento, K. K. R. D., Almeida, M. M. D., & Vieira, F. F. Secagem e avaliação do bagaço de cana de açúcar como adsorvente de corantes têxteis presentes em soluções aquosas. Matéria (Rio de Janeiro), 26. 2021.

[43] ZHOU, F.; LI, K.; HANG, F.; ZHANG, Z.; CHEN, P.; WEI, L.; XIE, C. Efficient removal of methylene blue by activated hydrochar prepared by hydrothermal carbonization and NaOH activation of sugarcane bagasse and phosphoric acid. RSC advances, v. 12, n. 3, p. 1885-1896, 2022.

Capítulo 6

Desenvolvimento experimental de um mini tunel de vento para estudos aerodinâmicos

Fernando Lima de Oliveira
Diógenes Leite Souza
Mauro Sérgio Silva Pinto
Lourival Matos de Souza Filho
Ubiraci Silva Nascimento
José Bello Salgado Neto

Resumo: Este trabalho visa o desenvolvimento do projeto e da construção de um mini túnel de escala laboratorial para fins didáticos de diversas áreas do conhecimento, tais como: áreas da Engenharia Mecânica, Civil, entre outras. Métodos: Após o estudo sistemático dos tipos de túneis de vento definiu-se pelo desenvolvimento de um dispositivo de circuito aberto e do tipo sugador. Foi realizado algumas análises e cálculos minuciosos para avaliar as melhores geometrias dos componentes e métodos para controle da camada limite e maior uniformidade do escoamento. Resultados: Após as etapas de dimensionamento e modelagem foi iniciado o processo de construção de um protótipo com materiais de baixo custo para verificação dos parâmetros abordados no projeto. Posteriormente, de posse dos resultados do protótipo, construiu-se o projeto final, conforme proposto no projeto e com dimensões específicas. Conclusão: A construção forneceu subsídios e ferramentas para estudos aerodinâmicos em corpos de prova, tais como: a) a visualização do escoamento em contato com o corpo de prova; b) a diferença da ação aerodinâmica em modelos/protótipos diversos. Além disto, foi possível realizar o desenvolvimento de aulas práticas, experimentos, simulações e análises em mecânica dos fluidos, além de colaborar para simulações e testes de experimentos diversos no ambiente acadêmico.

Palavras-Chave: Túnel de vento. Aerodinâmica. Fluidos. Escoamentos.

1. INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento dos fluidos, é um campo de pesquisa relevante no processo da construção da história humana, por tal, sempre despertou muito interesse. Nos tempos antigos, já se utilizava noções de aerodinâmica na confecção de flechas e em embarcações movidas à vela, sempre tendo como objetivo a diminuição da força contrária ao movimento denominada arrasto. Porém, a análise de comportamentos dos fluidos sobre diversos tipos e modelos de corpos, devido às suas características, possui certa complexidade e dificuldade de visualização, o que levou à busca de meios que proporcionassem um melhor entendimento, na prática, sobre tais princípios.

Na tentativa de melhorar os estudos destes fenômenos foi que surgiram os túneis de vento. De forma geral, um túnel de vento é uma instalação destinada a produzir, de forma regular e controlada, uma corrente de ar com o objetivo de determinarem-se experimentalmente as condições do escoamento e de medir distribuições de esforços, de temperaturas e acompanhamento de partículas, além de outros elementos relevantes do estudo (Goreck, 1988).

De acordo com Bell e Mehta (1988) ensaios em túneis de vento constituem uma ferramenta confiável para a determinação dos efeitos de cargas de vento sobre diversas estruturas, modelos e protótipos que necessitam ser avaliadas.

Mesmo com os computadores de hoje, o túnel de vento ainda é uma ferramenta essencial da engenharia pata modelagem de testes, pesquisa experimental e validação dos resultados computacionais. Sua aplicação está diretamente relacionada às situações que exigem informações com maior exatidão e confiabilidade ou quando o conhecimento a respeito das cargas de vento recai sobre condições que fogem às previstas nas normas técnicas.

Contudo, a instalação deste equipamento, costuma ser onerosa, não permitindo que todos os cursos de engenharia mecânica, civil e/ou arquitetura a possuam. No mais, no Brasil existem poucos laboratórios de universidades que os possuem, gerando uma enorme carência nesta área de pesquisa.

Com o intuito de poder mostrar como o vento atua na simulação de um ambiente tipo túnel de vento foi proposto o desenvolvimento de um projeto de um Túnel de Vento (TV) de baixo custo, pequeno porte e fácil construção com o objetivo de mostrar qualitativamente o comportamento do vento sobre as formas geométricas.

Neste trabalho foi mostrado que esta ferramenta laboratorial foi capaz de fornecer ensino e aprendizagem de pequenos modelos de automóveis, corpos esféricos, maquetes de construção residenciais e outras que são muito exigidas pela ação dinâmica do vento. Durante o projeto será feita análises e escolhas dos tipos e melhores parâmetros para a construção de um túnel de vento a ser utilizado em análises de escoamento e ferramenta prática de ensino na graduação.

1.1. OBJETIVOS

Neste contexto, este projeto tem como objeto geral: Construir um mini túnel de vento para ensaios experimentais que permitam estudar os conceitos fundamentais da mecânica dos fluidos, principalmente sobre o fenômeno de aerodinâmica e sua aplicação em objetos do tipo protótipo ou maquetes.

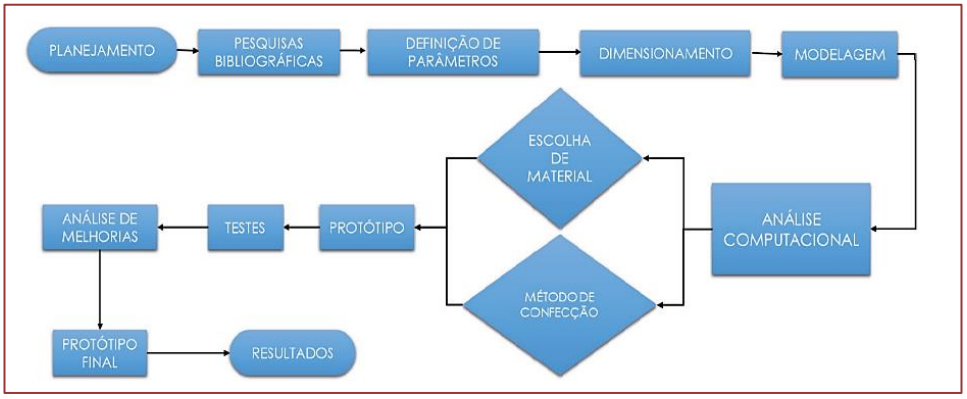
Além disto, esta pesquisa foi capaz de: Realizar um estudo para aquisição de um profundo conhecimento para o desenvolvimento e projeto de um túnel de vento enfatizando os detalhes e as tecnologias envolvidas para a sua construção e uso; Realizar ensaios experimentais: a) a visualização do escoamento em contato com o corpo de prova; b) a diferença da ação aerodinâmica em modelos/protótipos diversos; e, disponibilizar um mini túnel de vento de bancada experimental que sirva de estudo de modelos e/ou protótipo de grupos de estudos aerodinâmicos.

2. MÉTODOS

Inicialmente foi realizado algumas revisões bibliográficas de projeto de túneis de vento para verificações de recomendações de dimensionamento de autores especializados na área para dá o ponto de partida do projeto.

A Figura 1 mostra uma visão geral metodológica da concepção do projeto e construção do mini túnel de vento de bancada experimental.

Figura 1. Fluxograma de metodologia de trabalho



Fonte: Souza (2016).

Com objetivo de realizar simulações para auxiliar no dimensionamento do equipamento, utilizou-se também softwares de modelagem e análise numérica.

Estudou-se os modelos e as diversas geometrias de túneis de vento bem como possíveis materiais de baixo custo para a confecção. Mas antes da construção final, foi confeccionado um protótipo de papelão de acordo com as especificações propostas, para verificação em escala real do dispositivo e propor possíveis melhorias e habilidades construtivas para o projeto final, além de avaliar os resultados obtidos.

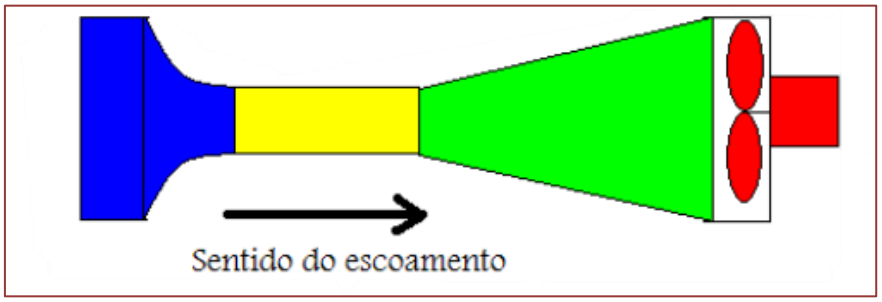
De forma geral, o projeto do protótipo foi executado na seguinte linha de ações: a) definição de parâmetros; b) dimensionamento e modelagem 3D; c) construção do protótipo; e d) ensaios.

2.1. DEFINIÇÕES DOS PARÂMETROS

Nesta etapa foi definido ser o projeto a construção de um mini túnel de vento que fosse de fácil construção e baixo custo, podendo chegar, na sua seção de testes, uma velocidade

escoamento de cerca de 10 m/s. Dessa forma, entre as geometrias e tipos de túnel de vento analisados, aquela que se encaixa como a mais simples é o do tipo sugador de circuito aberto, como mostra a Figura 2, além de proporcionar um fluxo mais uniforme, conforme a literatura. Os principais componentes deste tipo é a câmara de estabilização (tela e colmeia), bocal de contração, seção de testes, difusor e ventilador.

Figura 2. Desenho de um túnel de vento sugador de circuito aberto



Fonte: Soethe (2011, adaptado).

2.2. DIMENSIONAMENTO E MODELAGEM

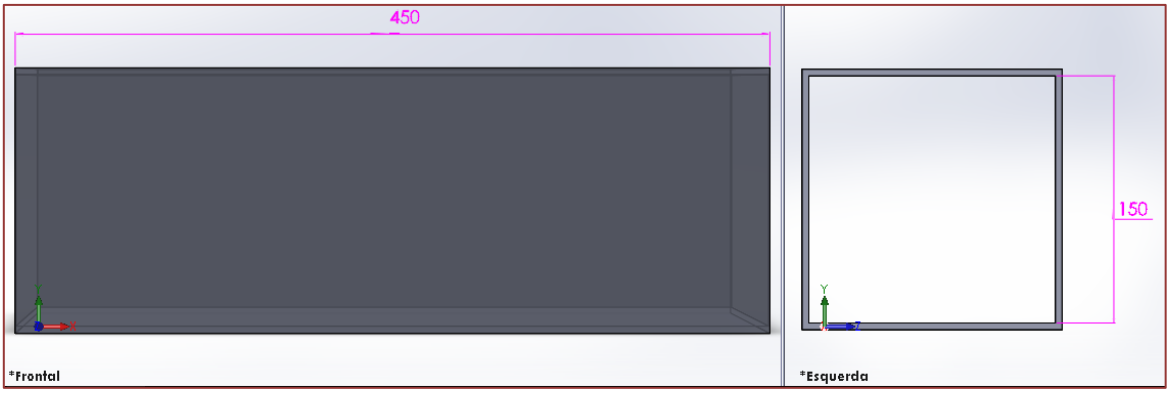
Após a etapa de definição de parâmetros, foi realizado, primeiramente, a etapa de dimensionamento dos componentes do túnel de vento. Para esta, foram realizados análises e cálculos baseados nas referências bibliográficas citadas na Seção 2.2, com auxílio do software *MatLab*®.

Para a etapa de modelagem utilizou-se o software SolidWorks® para visualização 3D dos componentes e simulação de escoamento do sistema utilizando a extensão *Flow Simulation,* para a verificação de parâmetros do projeto. De modo geral a metodologia de dimensionamento do projeto segue os passos a seguir.

2.2.1. SEÇÃO DE TESTES

Assim como foi relatado, este é primeiro componente do túnel de vento a ser dimensionado. Desse modo, foi definido primeiramente que este teria seção quadrada, com a finalidade de facilitar o processo construtivo e dimensionamento dos demais componentes. Com o objetivo de projetar um dispositivo com dimensões pequenas que chegasse a cerca de 1,5 metro de comprimento, optou-se por fixar o valor de 150 mm de lado, o que seria suficiente para testar pequenos corpos de prova, gerando uma vazão de cerca 0,225 m^3/s. Calculou-se o comprimento em 450 mm, já que esse pode ser até 3 vezes o tamanho do lado da seção, além de que quanto mais comprida a seção de testes, melhor o comportamento do fluxo.

Figura 3. Vistas da modelagem da seção de testes



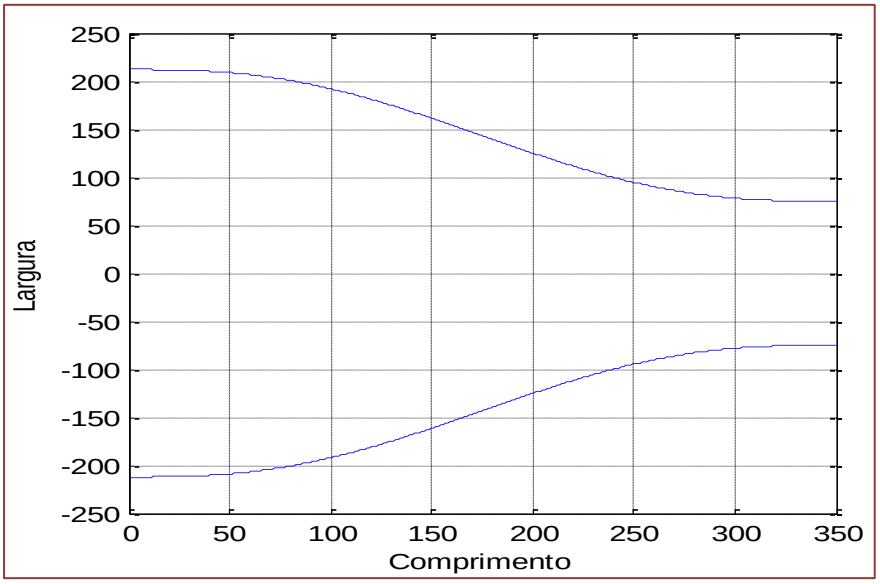
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.2.2. BOCAL DE CONTRAÇÃO

A saída deste elemento é ligada a seção de testes, portanto tem como dimensão 150mmx150mm. Obedecendo a recomendação de que a razão entre as áreas de entrada e saída deve estar entre 6-10, sendo que a razão ótima encontrada por Bell e Mehta (1988) deve ser cerca de 7.7, fixou-se o valor de 8 o qual proporcionou uma área de entrada de com dimensões de 424mmx424mm. Como a relação L/He deve ser entre 0.89-1.79, foi adotado um comprimento L de 350mm que gerou uma razão de 1.64, garantindo o dimensionamento dentro das recomendações.

Para traçar a curva do bocal, utilizou-se o método de Morel otimizado por Bell e Mehta (1988) para a equação do quinto grau mostrada anteriormente, a qual foi utilizada em uma rotina no MatLab para plotar o gráfico mostrado abaixo.

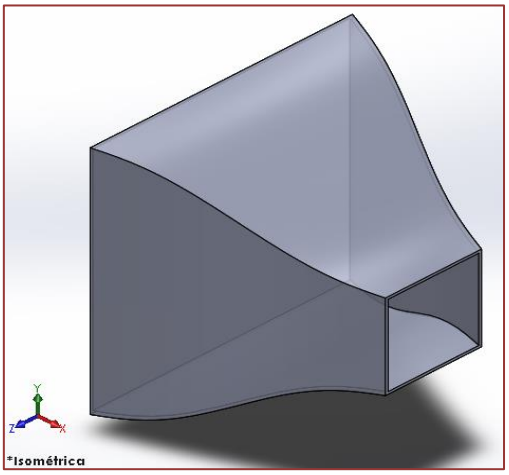
Gráfico 1. Curvatura do Bocal



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Com a aquisição dos pontos do gráfico e das demais dimensões foi possível modelar de forma mais precisa o bocal, resultando na Figura 4 abaixo.

Figura 4. Modelagem do bocal de contração



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

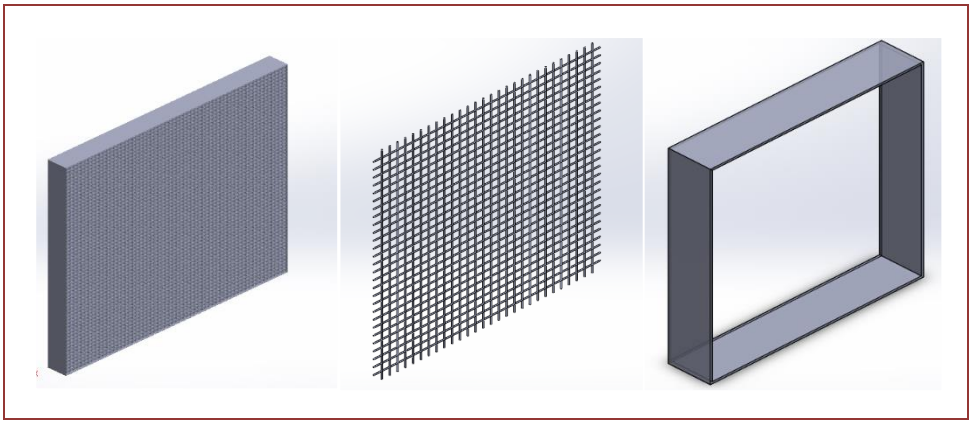
2.2.3. CÂMARA DE ESTABILIZAÇÃO

A câmara de estabilização é composta pela colmeia e a tela de turbulência as quais tem o objetivo de laminar e uniformizar a velocidade do ar. Seguindo as bases bibliográficas, a câmara deve possuir comprimento com cerca de 20% da maior dimensão do bocal (424mm), gerando assim, o valor de 85mm.

A tela foi escolhida baseado em dados comerciais, de forma a facilitar o processo construtivo e, seguindo as referências bibliográficas, escolheu-se de material plástico. Seu diâmetro do fio é de 2mm.

Para as colmeias, por motivo de custos e facilidade de encontrar no mercado, decidiu-se usar canudos para a confecção. Como possuem diâmetro de 5mm, o comprimento da colmeia, que deve ser de 7 a 10 vezes desse valor, foi de 35mm. Foram utilizados cerca de 6500 de células para completar a câmara.

Figura 5. Modelagem colmeia, tela e seção da câmara

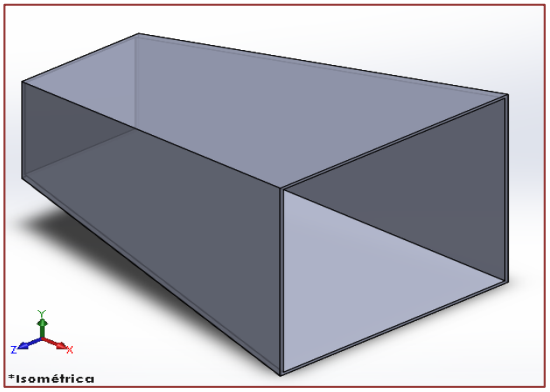


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.2.4. DIFUSOR

O difusor é um aumento de área destinado a reduzir a velocidade a fim de recuperar a altura de pressão do escoamento e por ser um projeto de um túnel de vento de pequeno porte, trata-se de um difusor com ângulo de abertura baixo. Este componente tem a sua entrada conectada a seção de testes e foi dimensionado com o a angulação de 10° para melhor recuperação da perda de pressão e a razão entre as áreas foi fixada em 4, de forma que o lado da saída do difusor ficou em 300mm, seguindo as recomendações (3 a 5) e o seu comprimento em 425mm. Através da análise da Figura 6 verificou-se que não será necessária a utilização de telas no difusor.

Figura 6. Modelagem do difusor



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.2.5. VENTILADOR

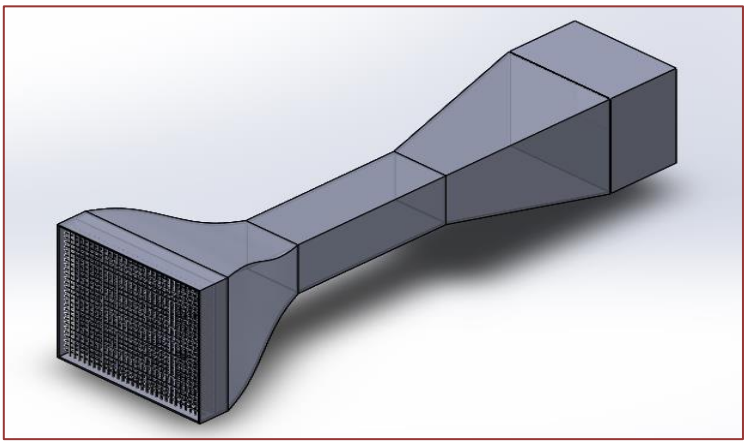
O ventilador a ser escolhido para um túnel de vento com a finalidade de obter a vazão necessária para visualização do escoamento. O ventilador a ser utilizado foi do tipo exaustor com diâmetro de 300mm e comprimento da seção de 200mm, com a finalidade de deixar o túnel de vento com cerca de 1,5 metro. Sua vazão é de 1500 m^3/h e potência 130 w, encontrado facilmente no mercado e a baixo custo.

Figura 7. Exaustor escolhido

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A modelagem completa do túnel de vento pode ser verificada na Figura 8.

Figura 8. Modelagem do túnel de vento

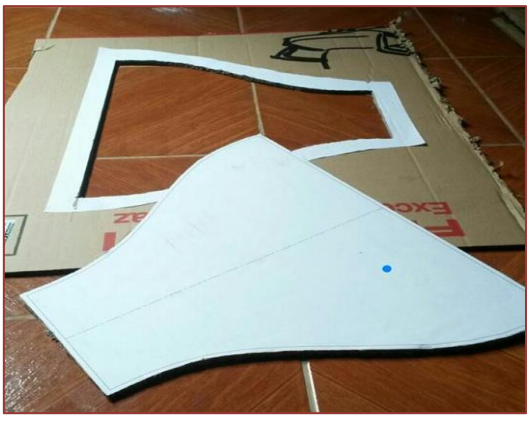


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.2.6. PREPARAÇÃO DE CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO

Na construção do protótipo utilizou-se o software *AutoCad*® para realizar os desenhos 2D dos componentes. Posteriormente, fez a impressão em tamanho real dos desenhos de forma a colá-los em folhas de papelão, com a finalidade de preparar um gabarito para facilitar a realização dos cortes para a montagem dos componentes.

Figura 9. Corte dos componentes no papelão



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

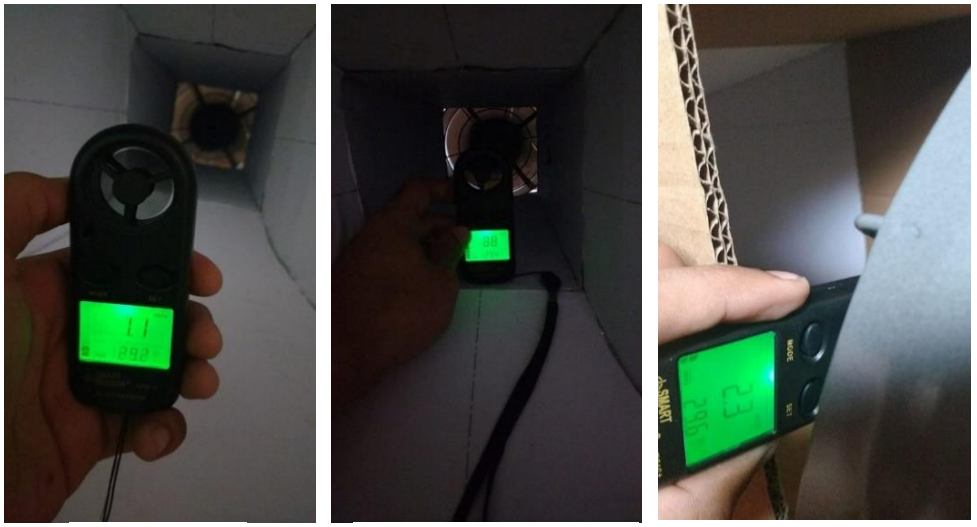
Com todas as peças cortadas, realizou a montagem utilizando álcool para moldagem do papelão e cola instantânea para fixação, iniciando-se pela seção de testes, assim como ocorreu no dimensionamento.

É possível verificar que o fluxo mostrou bom comportamento segundo a simulação, mostrando que o projeto segue como esperado e a vazão necessária para o dispositivo é superada pela vazão do ventilador escolhido.

2.2.7. COLETA DE DADOS

No protótipo, como pode ser verificado foi analisado se a velocidade do escoamento, a qual foi medida com o auxílio de anemômetro digital em várias partes do túnel, estava condizendo com os dados, podendo-se avaliar se houve pequenas diferenças nos valores teóricos para o real. A medida foi realizada em três pontos diferentes, conforme mostra a Figura 10 no bocal, na seção de testes e no difusor.

Figura 10. Velocidade do escoamento



(a) Bocal **(b)** Seção de testes **(c)** Final do difusor

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na construção e dos testes adotados no protótipo, iniciou-se a construção final do mini túnel de vento.

3.1. CONSTRUÇÃO FÍSICA DO MINI TÚNEL DE VENTO

Neste caso, este mini túnel de vento foi construído de outros materiais (de maior resistência estrutural). Além disto, foi construído de forma a possibilitar a visualização interna do escoamento. Na sua construção foi adotado os mesmos parâmetros feitos no protótipo. Os materiais empregados foram neste túnel de vento foram:

- 01 Folha de compensado de 4 mm;
- 01 placa de acrílico;
- Canudos;
- Tela de célula 7 mm e diâmetro 0,7 mm;
- 02 dobradiças;
- Máquina de Fumaça e Exaustor;

- Cano sanfonado;
- Alfinetes e tachinhas.

Utilizou-se as mesmas dimensões projetadas para o protótipo, aproveitando-se os desenhos 2D para realizar os cortes das peças na máquina a laser para posterior montagem, utilizando a folha de compensado e a placa de acrílico na seção de testes para que fosse possível a verificação dos ensaios. Para o projeto final, adicionou-se mais uma peça de vedação do fim do túnel, de forma que esta proporcionasse a velocidade desejada na seção de testes, diminuindo o erro encontrado no protótipo.

A colmeia foi confeccionada com pequenos tubos (canudos) colados em fileiras conforme Figura 11 abaixo.

Figura 11. Confecção colmeia de canudos

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Para a visualização do escoamento (conforme será mostrado na próxima seção), utilizou-se uma máquina de fumaça modelo F -1000 EPP de 750 W, a qual é capaz de gerar a fumaça quando for realizado o experimento da visualização do escoamento. Foi adaptado um cano sanfonado para canalizar a fumaça e proporcionar que ela chegue o mais uniforme possível na seção de testes. Para facilitar a visualização também, utilizou-se um papel de cor preta para forrar a parede da seção de testes.

Assim como no protótipo, confeccionou-se um mine túnel de vento seguindo os passos adotados no projeto. Com a finalidade de flexibilizar as análises e modelagem de testes no mini túnel de vento, implementou-se um *Dimmer* de forma a variar a velocidade do ventilador e obter a visualização dos escoamentos para diferentes experimentos.

Assim como no protótipo, confeccionou-se um modelo final do mini túnel de vento (Figura 12) de acordo com os passos adotados no projeto.

Figura 12. Mini Túnel de Vento

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

3.2. RESULTADOS DOS TESTES EXPERIMENTAIS

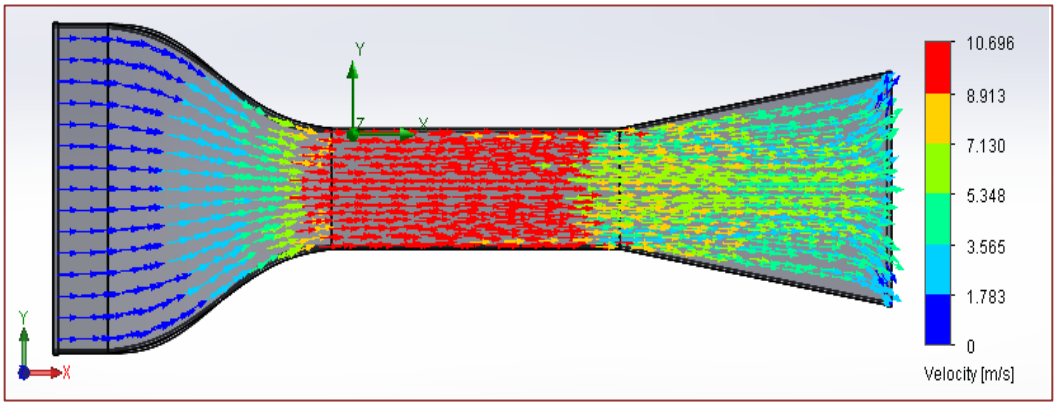
Com o intuito de poder mostrar como o vento atua na simulação de um ambiente tipo túnel de vento propõe-se aqui o desenvolvimento de um projeto de um Túnel de Vento com o objetivo de mostrar qualitativamente o comportamento do vento sobre as formas geométricas.

Neste caso, o túnel de vento foi utilizado para realizar alguns testes experimentais. Abaixo é mostrado os testes e a discussão dos resultados dos seguintes experimentos: 1) Análise Computacional: Velocidade e linhas de escoamento, Análise da pressão no túnel de vento e Análise da pressão no túnel de vento; 2) Análises de Escoamentos, e 3) Análise de Velocidades e Construção dos Protótipos.

3.2.1. ANÁLISE COMPUTACIONAL

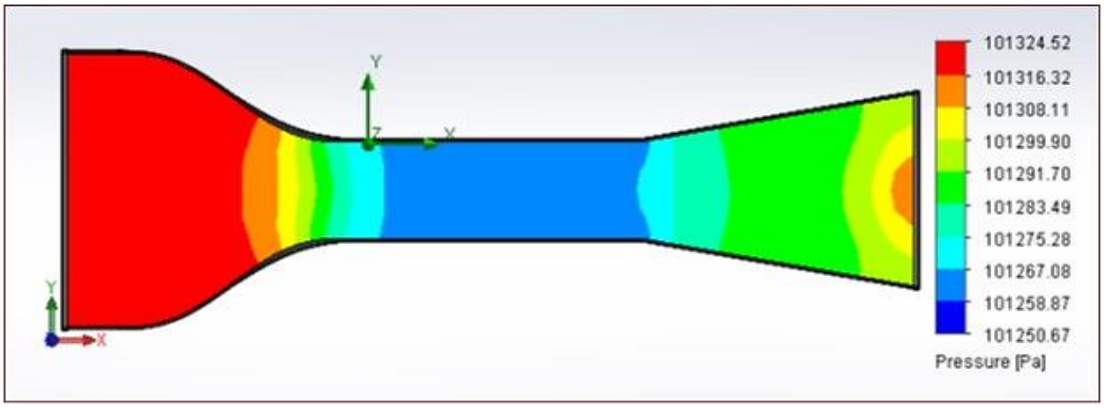
Com a modelagem 3D realizou-se as simulações de escoamento através da extensão *FlowSimulation* do *SolidWorks*, sendo possível verificar as linhas de escoamento assim como vorticidade, velocidades e pressão em diferentes trechos do túnel de vento projeto. O resultado é mostrado nas Figuras 13, 14 e 15.

Figura 13. Velocidade e linhas de escoamento



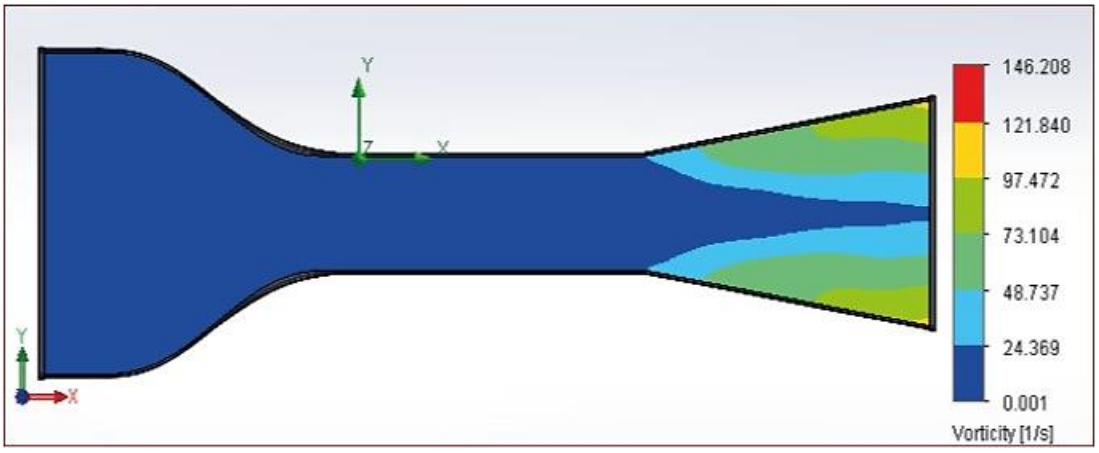
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 14. Análise da pressão no túnel de vento



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 15. Análise de vorticidade



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Conforme imagens acima, pode-se verificar que o fluxo apresentou um bom comportamento segundo a simulação mostrando que as velocidades desejadas são atendidas, além disto esta possui uma boa distribuição de escoamento. Verificou-se também que houve vorticidade praticamente nula na seção de testes, mostrando que o dimensionamento atendeu aos requisitos de garantir que o ar chegue o mais uniforme possível nos corpos de prova segundo a simulação.

3.2.2. ANÁLISE DE VELOCIDADES E CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Com o protótipo inicial construído (Figura 19), coletaram-se os dados nos pontos indicados na figura abaixo e realizou-se a comparação entre os valores calculados e os medidos com auxílio do anemômetro digital. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 1.

Figura 19. Mini túnel de vento (pontos de análise de velocidades)

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Tabela 1. Comparação entre dados coletados e medidos

SEÇÃO	VELOCIDADE m/s		ERRO (%)
	Teórico	Medido	
Bocal (início)	1,25	1,1	12
Seção de testes	10	8,8	12
Difusor (fim)	2,5	2,3	8

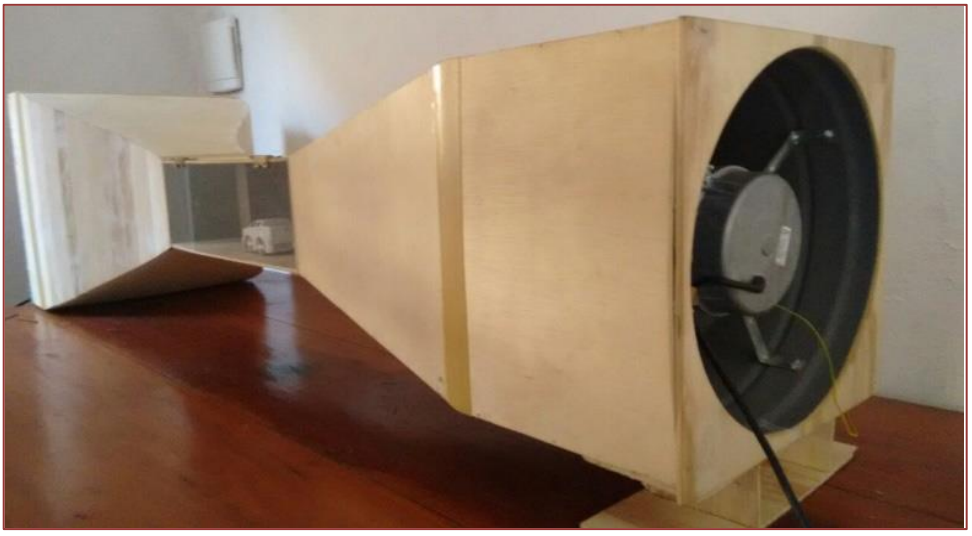
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A partir da análise dos dados tabelados foi possível averiguar que houve uma considerável diferença percentual de velocidade dentro da seção de testes, fazendo com que o protótipo inicial não chegasse à sua meta.

Um dos motivos dos erros percentuais da medição da velocidade deve-se ao material empregado na confecção que foi o papelão. Este material (papelão) possui muitas imperfeições e devido ao método de confecção com cola instantânea pode impedir um vedamento mais eficaz do equipamento, além de apresentar maiores rugosidades na superfície, devido ao dobramento deste material.

Neste caso, para o projeto final utilizou-se chapa de compensado, de forma a eliminar essas imperfeições e agregar maior rigidez ao projeto, mas colocando em evidência ainda o baixo custo, a facilidade construtiva e garantida um peso relativamente baixo. Além disso, realizou-se o vedamento no final do túnel, na seção do ventilador, já que esta é quadrada e o ventilador possui formato circular. Ver Figura 20.

Figura 20. Vedação na parte final do túnel de vento



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Com a análise das melhorias a serem feitas para o protótipo final, realizou-se a construção mini túnel de vento. Ou seja, de acordo como mostra as Figuras 21 e 22.

Figura 21. Mini Túnel de Vento construído

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 22. Detalhes máquina de fumaça e câmara de estabilização

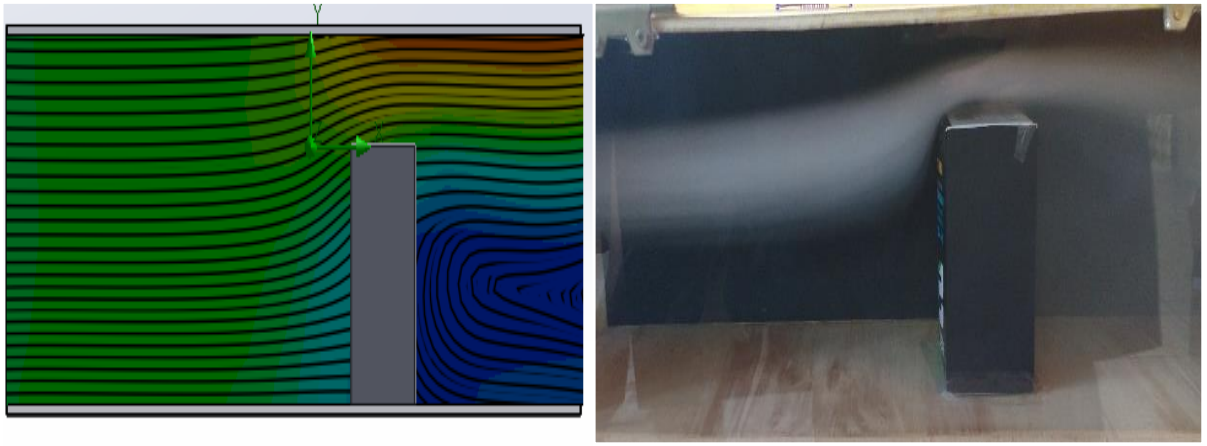
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Com o túnel de vento pronto, novamente aferiu-se a velocidade na seção de testes e foi encontrado o valor de 10 m/s, anulando o erro encontrado no protótipo em relação aos parâmetros de projeto, conforme medida do anemômetro.

3.2.3. ANÁLISES DE ESCOAMENTOS

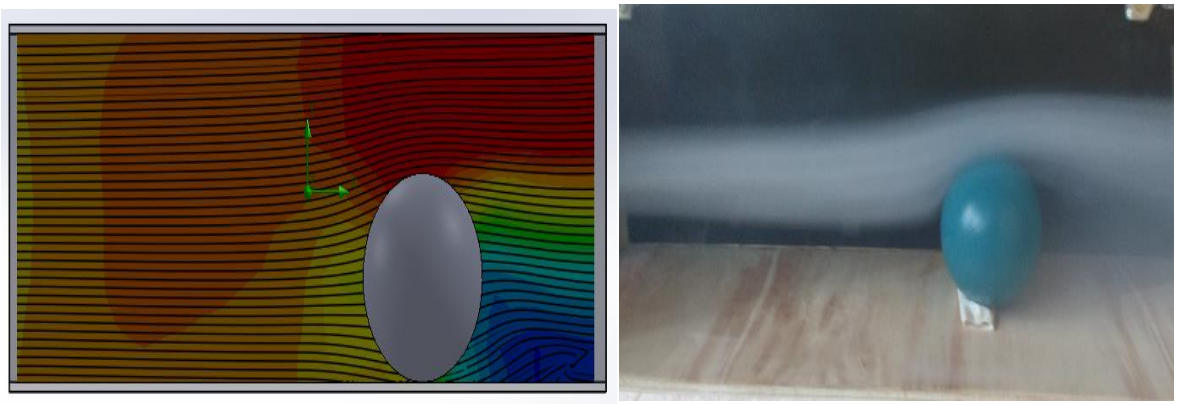
Posteriormente iniciou-se os testes com os corpos de prova. Como forma de comparar e validar os resultados obtidos, realizou-se, por meio do *Flow Simulation*, a simulação de escoamentos dentro da seção de testes com alguns corpos de prova os quais foram escolhidos um bloco, uma esfera e o conjunto bloco-esfera. As comparações podem ser vistas abaixo nas Figuras 23 a 25. É possível verificar que o túnel de vento construído conseguiu reproduzir experimentalmente as análises computacionais.

Figura 23. Comparação da análise computacional e experimental do escoamento no bloco



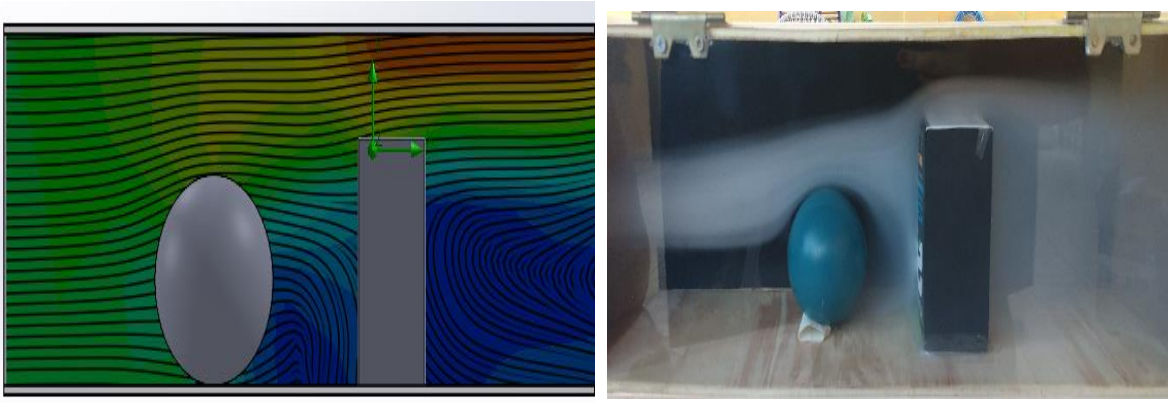
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 24. Comparação da análise computacional e experimental do escoamento na esfera



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

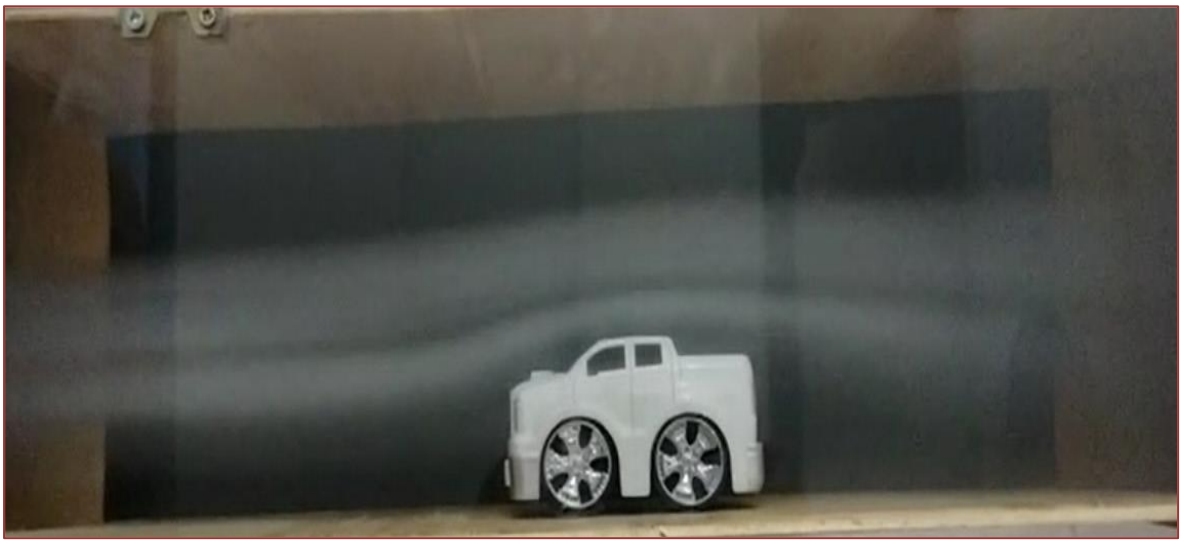
Figura 25. Comparação da análise computacional e experimental do conjunto



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

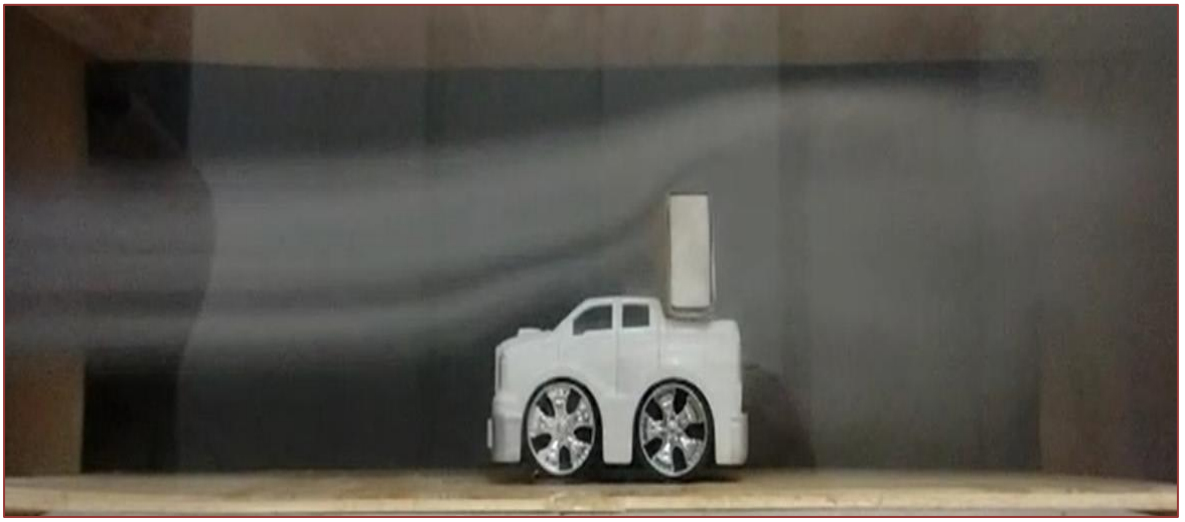
Realizou-se também a visualização das linhas de escoamento para efeito de comparação em um carro de brinquedo com e sem um objeto em cima do mesmo, onde verificou-se o deslocamento das linhas e aumento de vórtices, conforme Figuras 26 e 27.

Figura 26. Visualização de escoamento em um carro de brinquedo



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 27. Visualização de escoamento em um carro de brinquedo com peso



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

4. CONCLUSÕES

Esta pesquisa, ainda que de natureza experimental num equipamento de pequena escala, implica numa ferramenta bastante necessária para estudo e pesquisas que envolvem escoamento de ar ao redor de corpos de dimensões e tamanhos diversos.

De acordo com esta pesquisa, a partir dos parâmetros definidos, realizou-se de forma positiva o dimensionamento e a modelagem do protótipo do túnel de vento, aliando ideias às recomendações.

Deste estudo, primeiramente se teve a construção de um protótipo túnel de vento com materiais leves e baratos para a verificação do processo construtivo e comportamento do dispositivo, analisando a velocidade dentro da seção de testes e analisando possíveis

melhorias para etapa final.

De posse dos resultados do protótipo, construiu-se o projeto final onde buscou-se uma confecção realista ao que foi planejamento, sendo possível realizar ensaios didáticos, conforme apresentados de forma dinamizar mais o aprendizado desta área, com análises de objetos e corpos de prova.

Finalizado a pesquisa e os testes propostos pode-se concluir ainda que o presente trabalho: a) Disponibiliza um conjunto de experimental (mini túnel de vento) capaz de analisar parâmetros de escoamento, podendo até mesmo ser capaz de atender outras análises como maiores precisões; b) Foi capaz oferecer, ainda que pequeno, um conhecimento para construção de um túnel de vento de maior escala e que possa atender as diversas demandas de ensino e pesquisa dos cursos de engenharia; c) Contribuiu para a aprendizagem e uma melhor compreensão da influência do escoamento em diversos corpos de testes; d) Foi capaz de propor direções em projetos que visam conciliar eficiência na construção de modelos e protótipos usados nas engenharias e áreas correlatas;

Como sugestão para trabalhos futuros e possíveis melhorias para o equipamento, propõe-se a implantação de um sistema de medição de forças de arrasto e sustentação dos corpos de prova, além de um sistema integrado de instrumentação e acionamento capaz de regular a velocidade, fumaça, indicador de temperaturas e pressão dentro da seção de testes.

REFERÊNCIAS

[1] BELL, James H.; MEHTA, R. Contraction Design For Small Low-Speed Wind Tunnels. Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, Standford, april, 1988.

[2] BARLOW, B.J.; RAE W.H.; POPE, A. Low Speed Wind Tunnel Testing. 3ª ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

[3] BRADSHAW, P.; MEHTA, R. WIND TUNNEL DESIGN. Disponível em: <http:// navier.stanford.edu/bradshaw/tunnel/> Acesso em: 07 de agosto de 2015.

[4] FARIA, André I. R. et all. Projeto, Construção E Avaliação De Um Mini-Tunel De Vento Para Fins Didáticos. Faculdade Anhanguera de Anápolis, Anápolis, 2014.

[5] FOX; MCDONALD, A.T. Introdução à Mecânica dos Fluidos. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2005.

[6] BRUNETTI, Franco. Mecânica dos Fluidos. 2. ed. [S.l]:Editora Pearson, 2010.

[7] GORECKI, J. P. Túneis aerodinâmicos: passado, presente e futuro. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIAS TÉRMICAS, 2., 1988, Águas de Lindóia, SP. Anais [...]. Águas de Lindóia, SP, 1988, 53 p.

[8] METHA, R. D. The aerodynamic design of blower tunnels with wide-angle diffusers. Prog. Aerospace Sci, London, v. 18, p. 59-120. 1977.

[9] MEHTA, R. D.; BRADSHAW, P., Design Rules For Small Low Speed Wind Tunnels. The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society, november 1979.

[10] ISMAIL, Kamal A. R., Lino Fátima A. M. Aerodinâmica Experimental. BAE, Campinas, 2010.

[11] SOETHE, L. V., Souza, L. F. S., Deyna A. Projeto e Construção de um Túnel de Vento Didático. CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 39., Blumenau, SC. Anais [...]. Blumenau, SC, 2011.

[12] VICENSI, Augusto. Dimensionamento de um Túnel de Vento Subsônico. 214. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2014. Disponível em: https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/2287/TCC%20-%20Augusto%20Vincensi%20-%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: jan. 2022.

[13] WHITE, F. M. Mecânica dos Fluidos. 4. ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda, 2002.

Capítulo 7

Simulação da planta de quatro tanques usando softwares de acesso aberto

Cleiton Bittencourt da Porciúncula

Resumo: Softwares de acesso aberto para ensino e pesquisa em Engenharia são cada vez mais usados, em especial frente aos elevados custo de aquisição de pacotes comerciais. O objetivo deste trabalho é avaliar diferentes alternativas de softwares de acesso aberto disponíveis, usando como estudo de caso a simulação da planta de quatro tanques. A simulação deste problema em diferentes softwares permite verificar, além da qualidade dos resultados, as vantagens e desvantagens de cada software com base na sua arquitetura para resolver o mesmo problema. Os softwares testados foram: Scilab/Xcos, Octave, OpenModelica, EMSO e MyOpenLab. Os resultados apresentam desvios muito pequenos entre si, reproduzindo o mesmo comportamento dinâmico a partir de diferentes níveis de complexidade de operação em cada pacote computacional.

Palavras-chave: Simulação; software livre; modelagem.

1. INTRODUÇÃO

A simulação computacional é cada vez mais presente no mundo da Ciência e da Engenharia. O avanço significativo nos computadores, em especial a partir do fim da década de noventa, permitiu que problemas cada vez mais complexos que antes demandavam máquinas espaçosas e de elevado custo para serem resolvidos, pudessem hoje serem resolvidos com mais facilidade, em menor tempo e com menor custo.

Com o passar do tempo, novos softwares para simulação têm surgido, e muitos destes pacotes computacionais possuem licenças de aquisição de alto custo e sem possiblidade de investigação do código-fonte. Este alto custo, seja de licenças de uso perpétuo ou assinaturas com planos anuais ou opções similares, muitas vezes inviabiliza a aquisição por pequenas e médias empresas e em especial por universidades, fazendo com que muitos estudantes das chamadas áreas STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) desconheçam o uso dessas ferramentas. Paralelo a isso, além do surgimento de softwares de simulação mais modernos e de fácil manipulação pelo usuário, ainda que pagos, surgem também softwares similares de acesso aberto e/ou com menores custos de aquisição. Muitos desses softwares possuem quase todas as mesmas funcionalidades dos pacotes pagos, gerando resultados de mesma qualidade e confiabilidade.

Com base nestas questões, o objetivo do presente trabalho é realizar a análise de diferentes softwares de acesso aberto e compará-los entre si qualitativa (vantagens, desvantagens e limitações de cada um) e quantitativamente (análise dos resultados obtidos), com base na escolha de um problema de simulação já conhecido. O problema escolhido foi a planta de quatro tanques acoplados. (JOHANSSON, 2001), Neste trabalho, a simulação da planta de quatro tanques em diferentes softwares de acesso aberto ateve-se apenas à parte dinâmica em malha aberta, excetuando-se a parte relativa à modelagem do controle da planta usando funções de transferência. Os softwares utilizados neste estudo foram: Scilab (usando a sintaxe do Sclab e o simulador Xcos), Octave, OpenModelica (linguagem Modelica e programação em diagrama de blocos), EMSO e MyOpenLab.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O USO DE SOFTWARES DE SIMULAÇÃO NA ENGENHARIA

A simulação na Engenharia cresce a cada ano, e tem sido cada vez mais usada também nos cursos de Engenharia como parte da formação. O uso de software aberto (*open-source software*) também é cada vez mais difundido, em especial pelas Universidades. O trabalho de Pianosi *et al.* (2020) discute o sucesso do uso de ferramentas *open-source* na pesquisa científica e no desenvolvimento da Ciência aberta, concluindo que uma boa documentação é fundamental para a adoção de softwares abertos, apesar do tempo necessário para sua concepção. Apesar do uso de softwares de acesso aberto ter crescido nos últimos anos, os pacotes comerciais de simulação ainda são usados. Neste sentido, Komulainen *et al*. (2012) relata algumas experiências no uso dos pacotes comerciais de simulação dinâmica D-SPICE e K-SPICE. Diniz *et al*. (2013) apresenta alguns resultados do uso de simuladores comerciais (modelagem de sistemas mecânicos) já na graduação em Engenharia e discutindo a necessidade de implantação no ensino para que os alunos saiam com uma formação melhor para o mercado de trabalho, em especial na parte de projetos. Feise e Schaer (2021) realçam a importância da digitalização nos cursos de Engenharia Química no contexto da indústria 4.0 e sua consequência na empregabilidade destes futuros

engenheiros. Os autores ainda citam que o curriculum futuro deve proporcionar habilidades nas áreas de programação, modelagem e simulação, algoritmos, gêmeos digitais e modelos de manutenção preditiva.

O *e-learning*, o qual usa diversas ferramentas de aprendizado (softwares de simulação, animações, demonstrações de laboratório virtual, dentre outros) é discutido em um estudo de caso conduzido por Banday *et al* (2014), onde verificaram que esta abordagem é de mais difícil implementação sobretudo em instituições de países em desenvolvimento. O uso de softwares de realidade virtual na Engenharia Química e Bioquímica foi discutido por Kumar *et al.*(2021). É comum o aluno terminar sua formação sem algumas habilidades adequadas para a operação de uma planta de processo, fato que o treinamento ocorre normalmente em simuladores ou softwares similares. Estes autores realçam a importância das novas tecnologias de simulação, em especial da realidade virtual em combinação com outros softwares de modelos de plantas de processo, para a formação dos futuros engenheiros.

Um software aberto baseado em hardware de baixo custo foi desenvolvido por Kalúz *et al.* (2020), com o objetivo de proporcionar aos estudantes e pesquisadores o desenvolvimento de tarefas de laboratório de forma virtual. Apesar do software aberto, ele foi desenvolvido usando Matlab/Simulink (softwares proprietários) para controle virtual das plantas físicas. Martins e Jorge (2016) discutem o uso de software livre na engenharia com proposta de diferentes títulos para uso.

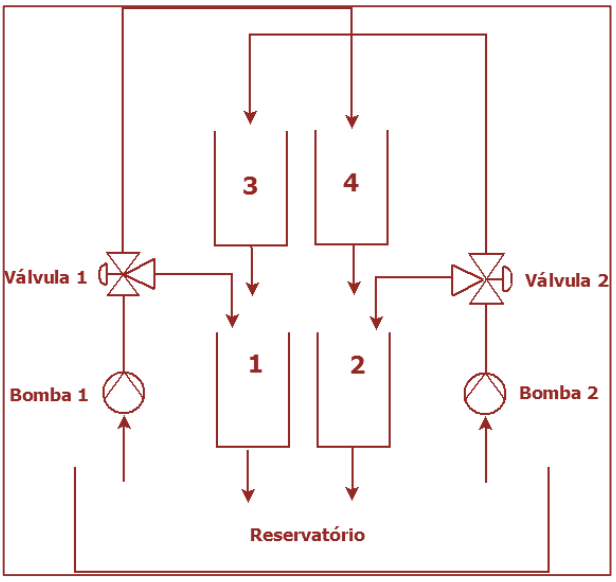
Ainda dentro dos processos químicos, Ortiz-Laverde *et al.* (2020) desenvolveram um *toolbox* em formato *open-source* para a simulação de problemas complexos de cinética química. Este *toolbox* desenvolvido usa algoritmos criados a partir do software FEniCS, que é um projeto de código livre para solução de equações diferenciais parciais usando o método dos elementos finitos. Cummings e Gilmer (2019) fizeram uma breve revisão sobre o uso de software livre no contexto da simulação molecular e seus usos na Engenharia Química, o que demonstra que o uso de software livre não se restringe apenas a problemas em escala industrial. Singh *et al*. (2017) fizeram uma breve avaliação das vantagens e desvantagens dos softwares livre e proprietário e seus usos na Engenharia como um todo. Como vantagens, o software proprietário possui atualizações mais frequentes além de uma extensa rede de suporte e auxílio ao usuário, dentre outras. Como desvantagens, tem-se o elevado custo, o que o torna impeditivo para a aquisição por estudantes e instituições de ensino, em especial de países pobres ou em desenvolvimento, além do código-fonte não estar disponível para avaliação pela comunidade científica. Quanto ao software aberto, a principal vantagem, é claro, o custo zero e o código-fonte acessível. Também existe uma extensa comunidade de em fóruns e grupos para suporte ao usuário; porém não há o suporte individual tal como ocorre no software proprietário. Como desvantagem do software aberto, muitas vezes a interface é pouco amigável ao usuário, e pode ser menos confiável e estável do que uma versão similar paga.

2.2. O PROBLEMA DA PLANTA DE QUATRO TANQUES

Existem várias versões de plantas de múltiplos tanques conectados entre si, sendo um dos mais conhecidos aquele do artigo de K.H. Johansson, (JOHANSSON, 2001), base para o desenvolvimento de diversos estudos similares. A proposta inicial daquele estudo foi a análise do zero multivariável a partir do modelo linearizado da planta. Este zero multivariável varia ao longo do eixo real alterando-se os parâmetros das válvulas, ilustrando muito bem as limitações no controle de processos industriais quando tais zeros

tendem a permanecer no semiplano direito, onde sabe-se que predominam as características de instabilidade (Bequette, 2002). A Figura 1 ilustra um rascunho adaptado com base no modelo proposto no artigo de K.H. Johansson.

Figura 1 – Esquema simplificado da proposta da planta de quatro tanques baseado em (JOHANSSON, 2001). Considera-se que o reservatório ao fundo dos quatro tanques possui capacidade infinita



Conforme a Figura 1, há quatro reservatórios que interagem entre si. O reservatório do fundo não é modelado, partindo-se do princípio de que é um reservatório com capacidade infinita. As bombas 1 e 2 retiram fluido deste reservatório maior e enviam às válvulas 1 e 2. Estas válvulas dividem as correntes de alimentação para os tanques 1 e 4 (válvula 1) e tanques 2 e 3 (válvula 2). As correntes de saída de todos os tanques geram uma vazão que é função do nível de líquido em cada tanque, sendo que a descarga do tanque 3 vai para o tanque 1 e a descarga do tanque 4 vai para o tanque 2. As descargas dos tanques 1 e 2 alimentam o reservatório maior ao fundo a partir do qual as bombas retiram o fluido, fechando assim a circulação do sistema.

O modelo matemático que ilustra o comportamento descrito na Figura 1 é baseado em um sistema de quatro equações diferenciais ordinárias no tempo, não-lineares, descritas nas equações (1.1) a (1.4).

$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1}\sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1}\sqrt{2gh_3} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1}v_1 \quad (1.1)$$

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2}\sqrt{2gh_2} + \frac{a_4}{A_2}\sqrt{2gh_4} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2}v_2 \quad (1.2)$$

$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3}\sqrt{2gh_3} + \frac{(1-\gamma_2)k_2}{A_3}v_2 \quad (1.3)$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4}\sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4}v_1 \quad (1.4)$$

As equações (1.1) – (1.4) são deduzidas a partir da combinação de balanços materiais combinados com a aplicação da equação de Bernoulli nos pontos de entrada e saída dos tanques. A dedução do modelo para um tanque dinâmico é encontrada fartamente na literatura, em especial com abordagem de linearização e funções de transferência para propósitos de controle de nível (BEQUETTE, 1998; COUGHANOUR e LEBLANC, 2009, OGATA, 2010). Com o modelo de um tanque único é possível generalizar o mesmo modelo para múltiplos tanques conectados. Nas equações (1.1) a (1.4), h_i é o nível de cada tanque i, em m, t é o tempo, em s, $a_i = \pi d_i^2/4$ é a área da seção transversal de saída de cada tanque i com diâmetro de abertura de saída d_i, em m, $A_i = \pi D_i^2/4$ é a área de seção transversal de entrada de cada tanque i com diâmetro de entrada D_i, em m, g é a aceleração da gravidade, em $m{\cdot}s^{-2}$, γ_j é a fração de abertura da válvula j, adimensional, k_m é o ganho de cada bomba m, expresso em $m^3{\cdot}V^{-1}{\cdot}s^{-1}$; e por fim, o parâmetro v_m é a diferença de potencial de cada bomba m, em V. O modelo considerado é de tanque ideal, sem perdas localizadas.

Os parâmetros de abertura γ das válvulas controlam a fração de líquido que é enviado para cada tanque. Assim, se $\gamma_1 = 0$, o tanque 1 não é alimentado e toda a alimentação vai para o tanque 4 conforme equação (1.4), pois $(1 - \gamma_1) = 1$. O contrário ocorre se $\gamma_1 = 1$: o tanque 1 recebe toda a alimentação que vem pela bomba 1, mas o envio de líquido para o tanque 4 fica completamente bloqueado. Raciocínio idêntico verifica-se para o ajuste do parâmetro γ_2 que divide a vazão entre os tanques 2 e 3. As tensões v_1 e v_2 das bombas, ao serem multiplicadas pelos respectivos ganhos k_1 e k_2 retornam a vazão volumétrica que cada bomba está enviando ao sistema. Esta vazão, dividida por cada área do tanque A_i, retorna a velocidade linear de alimentação, em $m{\cdot}s^{-1}$, fechando a consistência dimensional com o lado esquerdo de cada equação, dh_i/dt, também em $m{\cdot}s^{-1}$.

Com base nas equações (1.1) – (1.4), a solução em estado estacionário do sistema ilustrado na Figura 1 pode ser obtida de forma exata. Para isto, basta isolar as variáveis h_3 e h_4 nas equações (1.3) e (1.4), respectivamente (pois $dh_i/dt = 0$ no estado estacionário) e substituir nas equações (1.1) e (1.2), explicitando a seguir para h_1 e h_2. As equações (2.1) a (2.4) apresentam estas soluções de estado estacionário:

$$h_{1,ss} = \frac{1}{2g}\left[\frac{\gamma_1 k_1 v_1}{a_1} + \frac{(1-\gamma_2)k_2 v_2}{a_1}\right]^2 \quad (2.1)$$

$$h_{2,ss} = \frac{1}{2g}\left[\frac{\gamma_2 k_2 v_2}{a_2} + \frac{(1-\gamma_1)k_1 v_1}{a_2}\right]^2 \quad (2.2)$$

$$h_{3,ss} = \frac{1}{2g}\left[\frac{(1-\gamma_2)k_2 v_2}{a_3}\right]^2 \quad (2.3)$$

$$h_{4,ss} = \frac{1}{2g}\left[\frac{(1-\gamma_1)k_1 v_1}{a_4}\right]^2 \quad (2.4)$$

Conforme a Tabela 1 apresentada na Metodologia, como os valores das áreas e dos parâmetros usados são iguais (e as frações de abertura da válvula sendo iguais a 0,5) os níveis no estado estacionário serão, conforme as equações (2.1) a (2.4), iguais entre os tanques 1 e 2, ($h_{1,ss} = h_{2,ss}$), e iguais entre os tanques 3 e 4, $h_{3,ss} = h_{4,ss}$.

Existem diversos outros trabalhos relacionados a distintas versões de plantas de n-tanques conectados. No trabalho de Gomes *et al*. (2011) desenvolveu-se um módulo com dois tanques acoplados com controle de nível e temperatura, baseado em interface de hardware usando software aberto. Usando o mesmo modelo do trabalho de Johansson,

(2001), Sánchez *et al*, (2005) desenvolveram a simulação usando o kit de desenvolvimento *Easy Java Simulations*, em combinação com o Matlab/Simulink, na forma de laboratório virtual. Também usando *Easy Java Simulations*, o trabalho de Duro *et al.* (2008) desenvolveram uma interface de laboratório remoto e virtual baseado na simulação de uma planta de três tanques acoplados. A comunicação de hardware entre o modelo virtual e o laboratório remoto foi desenvolvida usando o software LabView. Uma abordagem similar para um modelo de planta de três tanques foi desenvolvida por Bisták, P., (2020) usando Matlab/Simulink para a simulação do modelo dos tanques, WebSocket entre o cliente e a aplicação remota e Java Script para interface de usuário.

A simulação do modelo de descarga de tanque único, apesar de ser um problema bem mais simples, também ainda é muito investigado. Mercy e Girirajkumar (2017) estudaram um tanque esférico de uma planta de tratamento de esgoto por meio de sintonia de controle PID usando algoritmo PSO (*Particle Sworm Optimization*). Uma abordagem de rede neural artificial usando o software TensorFlow foi desenvolvido por Antão *et al.*, (2020) para o controle preditivo não-linear de uma planta de dois tanques acoplados.

3. DESCRIÇÃO DOS SOFTWARES UTILIZADOS

Nos itens a seguir serão dadas breves descrições dos softwares utilizados no desenvolvimento deste artigo.

3.1. SCILAB

Scilab é a sigla de "*Scientific Laboratory*", disponível para download em https://www.scilab.org/. É um software muito utilizado em cursos de Engenharia, sobretudo no ensino da disciplina de Métodos Numéricos (MAIA-AFONSO e DIAS, 2020). É uma das principais alternativas de uso gratuito em relação ao Matlab, sendo a maioria dos comandos muito similares ou iguais. Assim, a migração do usuário do Matlab para o Scilab é relativamente simples, visto que a lógica de funcionamento de ambos, e até a interface, são muito parecidas. A grande vantagem do Scilab é apresentar também a alternativa ao aplicativo Simulink do Matlab, denominado Xcos, muito utilizado no estudo das disciplinas de Controle em diversos cursos de Engenharia. Ainda que mais limitado que o Simulink, é possível desenvolver aplicações com um elevado grau de complexidade.

3.2. OCTAVE

O software Octave também é uma alternativa gratuita ao Matlab, mas com sintaxe e comandos mais próximos a este do que o Scilab (https://www.gnu.org/software/octave/). A grande desvantagem do Octave é não possuir um aplicativo similar ao Simulink ou Xcos para simulação de modelos em linguagem de diagrama de blocos. Entretanto, os arquivos em Octave possuem a mesma extensão que os criados em Matlab, '.m', de forma que muitas vezes um script criado em Matlab consegue ser executado no Octave sem modificações. Todavia, nem sempre a operação inversa é possível.

3.3. OpenMODELICA

O software OpenModelica é um software usado para simulação de sistemas dinâmicos de diferentes naturezas (mecânica, elétrica, térmica, fluida, etc.) baseado na linguagem de modelagem Modelica (https://www.openmodelica.org/).A linguagem Modelica possui proposta similar à linguagem de modelagem do software EMSO, sendo também possível a inserção, junto com as equações do modelo, das unidades de medida do mesmo, facilitando assim a compreensão e análise do sistema sob estudo. OpenModelica possui o OMEdit (*OpenModelica Connection Editor*), que é um aplicativo onde é possível simular diversos sistemas dinâmicos complexos a partir de blocos de construção representativos. Mesmo utilizando diretamente os blocos de construção gráfica do OMEdit, o software automaticamente gera o script em linguagem Modelica relativo à simulação que está sendo montada, o que facilita na avaliação de possíveis problemas e melhorias nas configurações do modelo.

3.4. EMSO

O software de simulação EMSO, sigla para *Environment for Modeling, Simulation and Optimization* é um ambiente onde de linguagem de modelagem para a simulação de processos dinâmicos e em estado estacionário. (https://www.enq.ufrgs.br/alsoc/download/). A linguagem é baseada em equações, e além de possibilitar a solução de sistemas de equações diferenciais, também é possível resolver sistemas de equações algébrico-diferenciais. O software também possibilita a criação de simulações no formato de fluxograma a partir de uma biblioteca de equipamentos, de forma similar a outros simuladores de processo disponíveis, tais como Aspen Hysys.

3.5. MyOpenLAB

O software MyOpenLab não é um programa de simulação em si, mas sim um ambiente de programação gráfica, baseado em linguagem Java, para criação de instrumentação virtual e interfaces de hardware, tais como Arduino (https://myopenlab.org/). Sua proposta é muito similar ao do conhecido software proprietário de instrumentação virtual LabVIEW, com a diferença de que este último é focado em um fluxo de sinais na programação gráfica, ao passo que MyOpenLab é construído para ser baseado em eventos. Na prática, um usuário ao executar um painel similar de instrumentação virtual criado em qualquer dos softwares não permite distinguir entre as duas formas de programação. MyOpenLab é mais recente e mais limitado do que LabVIEW, que já é consolidado no mercado, mas ainda sim permite desenvolver algumas aplicações com moderado grau de complexidade.

4. METODOLOGIA

Neste item, serão descritas as condições iniciais e demais valores usados na simulação da planta de quatro tanques, bem como a configuração deste problema nos diferentes softwares utilizados.

As simulações foram executadas nos softwares Scilab (Script e Xcos), Octave, OpenModelica (Linguagem Modelica e Diagrama de Blocos), EMSO e MyOpenLab. A Tabela 1 resume os valores dos parâmetros usados nas simulações.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros das equações (1.1) – (1.4) usados nas simulações

Parâmetro	Valor
$\gamma_1 = \gamma_2$	0,5
$v_1 = v_2$	10 V
$k_1 = k_2$	$5{\cdot}10^{-7}$ $m^3{\cdot}V^{-1}{\cdot}s^{-1}$
$d_1 = d_2 = d_3 = d_4$	$3{\cdot}10^{-3}$ m
$D_1 = D_2 = D_3 = D_4$	0,06 m
Passo de tempo de integração	0,1 s
Tempo final de integração	200 s

Conforme a Tabela 1, os diâmetros de saída e entrada dos tanques possuem o mesmo valor. As condições iniciais para os níveis dos tanques são: $h_1(0) = 0{,}02$ m, $h_2(0) = 0{,}04$ m, $h_3(0) = 0{,}08$ m, $h_4(0) = 0{,}1$ m. A Tabela 2 ilustra as técnicas de integração numérica usadas nos softwares empregados.

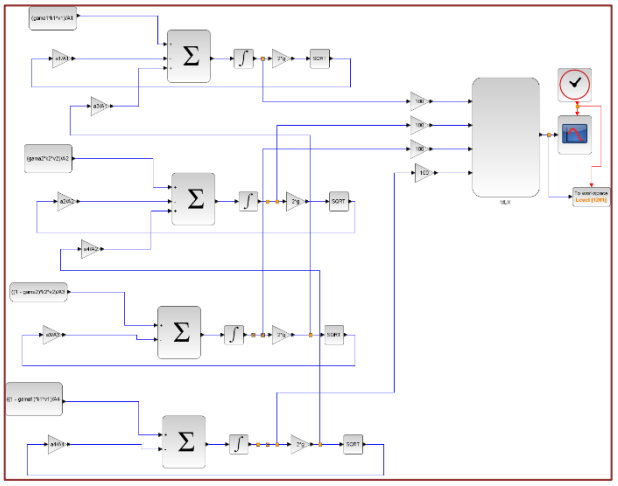
Tabela 2 – Algoritmos de integração numérica usados em cada simulação

Software	Algoritmo Numérico	Referências
Scilab – Comando 'ODE'	Runge-Kutta de quarta ordem	Butcher, 2003
Scilab/Xcos	Runge-Kutta-Fehlberg	
Octave – comando LSODE	Solução de sistemas explícitos não-rígidos pelo método de Adams, e de sistemas rígidos usando BDF (*Backward Differentiation Formulas*).	Butcher, 2000; Atkinson *et al.*, 2009
OpenModelica (Algoritmo escrito em Linguagem Modelica)	DASSL	Petzold, 1982
OpenModelica (OMEdit, diagrama de blocos)	DASSL	Petzold, 1982
EMSO	DAE Solver	
MyOpenLab	Runge-Kutta de quarta ordem	Implementado pelo autor.

4.1. MONTAGEM DA SIMULAÇÃO EM Scilab/Xcos E OCTAVE

O diagrama desenvolvido no Scilab/Xcos é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama de blocos representativo das equações (1.1) – (1.4) construído no Scilab/Xcos

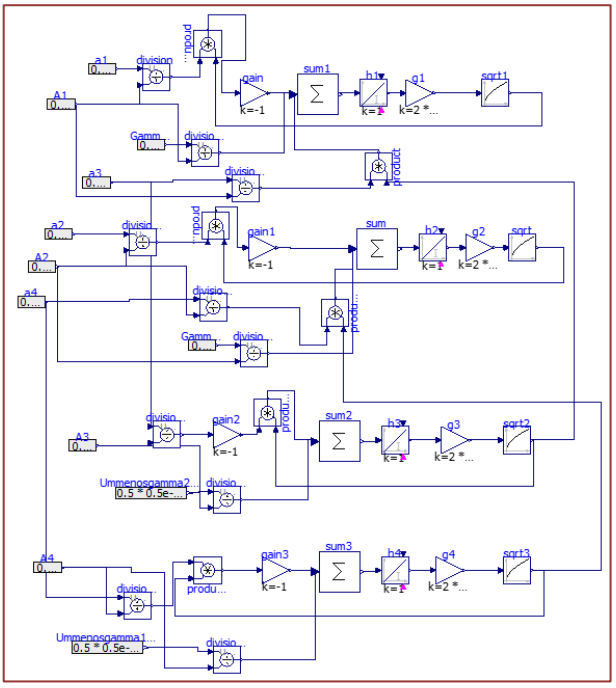


Comparando-se com a linguagem do Scilab, o tempo necessário para a montagem do problema da planta de quatro tanques é bem maior. Após o domínio da sintaxe do programa, a escrita do código do problema torna-se mais ágil. Entretanto, após o modelo em Xcos estar disponível, torna-se mais simples e intuitivo adicionar complexidades adicionais aos blocos (tais como perturbações nos sinais de entrada, e mesmo a adição de blocos com controladores) do que na parte escrita. Quanto ao uso do software Octave, infelizmente este não possui um aplicativo similar ao Matlab/Simulink tal como o Xcos presente no Scilab. Entretanto, basicamente apenas é preciso copiar o script desenvolvido no Scilab e colar no ambiente do Octave, com modificação apenas na sintaxe de chamada do solver e na formatação da janela gráfica, se necessário. A sintaxe do Octave é mais próxima daquela do Matlab, o que facilita a aprendizagem para o usuário acostumado com o Matlab.

4.2. ESTRUTURA DA SIMULAÇÃO EM OPENMODELICA

O uso da linguagem Modelica possui facilidade de entendimento e tem a vantagem adicional de permitir trabalhar com unidades de medida, o que não é possível no Scilab e Octave. A Figura 3 apresenta o diagrama de blocos construído no OMEdit, e cuja lógica é muito similar à do Xcos (Figura 2).

Figura 3 - Diagrama de blocos representativo das equações (1.1) – (1.4) construído no editor OMedit do software OpenModelica



Conforme a Figura 3, a complexidade de montagem do diagrama de blocos no OMedit é igual ou até maior do que a construção usando Xcos. Da mesma forma, é mais simples e rápido escrever a simulação em linguagem Modelica. Uma terceira opção é a montagem de um diagrama similar ao da Figura 1 usando blocos do pacote "*Fluids*" da biblioteca padrão presente no OMEdit. Todavia, o uso deste pacote necessita também de configurações usando linguagem Modelica mais avançada o que torna a montagem de um problema simples uma tarefa mais complexa e desnecessária.

4.3. USO DO SOFTWARE EMSO

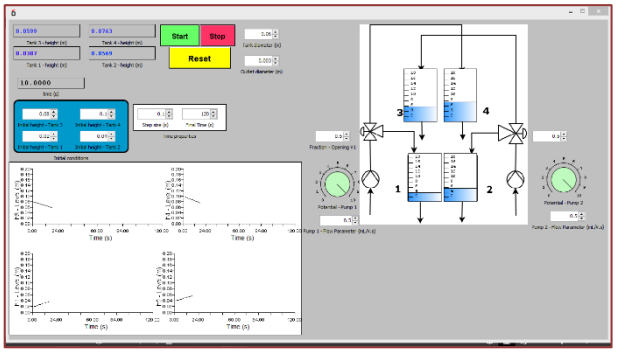
O EMSO também permite a inserção de um fluxograma de processos que pode ser similar ao diagrama ilustrado na Figura 1, porém, a escrita do problema de simulação acaba sendo mais fácil e mais rápida do que o uso da interface gráfica. Da mesma forma que a linguagem Modelica, o EMSO, por ser uma linguagem de modelagem, permite a definição e verificação das unidades de medida do problema, o que é bem útil para casos mais complexos.

4.4. SIMULAÇÃO EM MyOpenLab

Como mencionado anteriormente, o software MyOpenLab não é necessariamente um simulador, mas sim um software para construção de ambientes ou laboratórios virtuais, de proposta similar ao software LabView. Todavia, é possível rodar simulações de alto grau de complexidade que sirvam também como propósito de laboratório virtual. A Figura 4 ilustra a montagem da estrutura de laboratório virtual (a qual o usuário final possui acesso), de forma a reproduzir o esquema ilustrado na Figura 1. A figura 5 ilustra a saída dos resultados (níveis dos tanques) no console que aparece em uma janela *pop*-up ao

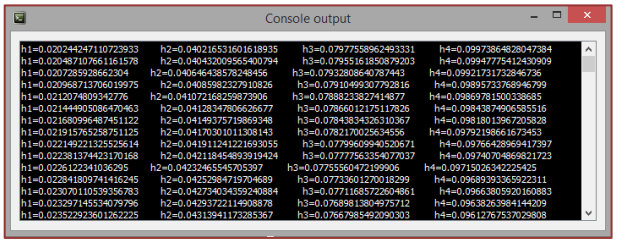
rodar a simulação. A Figura 6 apresenta o fluxograma na forma de diagrama de blocos a partir do qual o experimento virtual da Figura 4 é possível de ser visualizado.

Figura 4 – Estrutura da simulação/laboratório virtual representativa do problema ilustrado na Figura 1



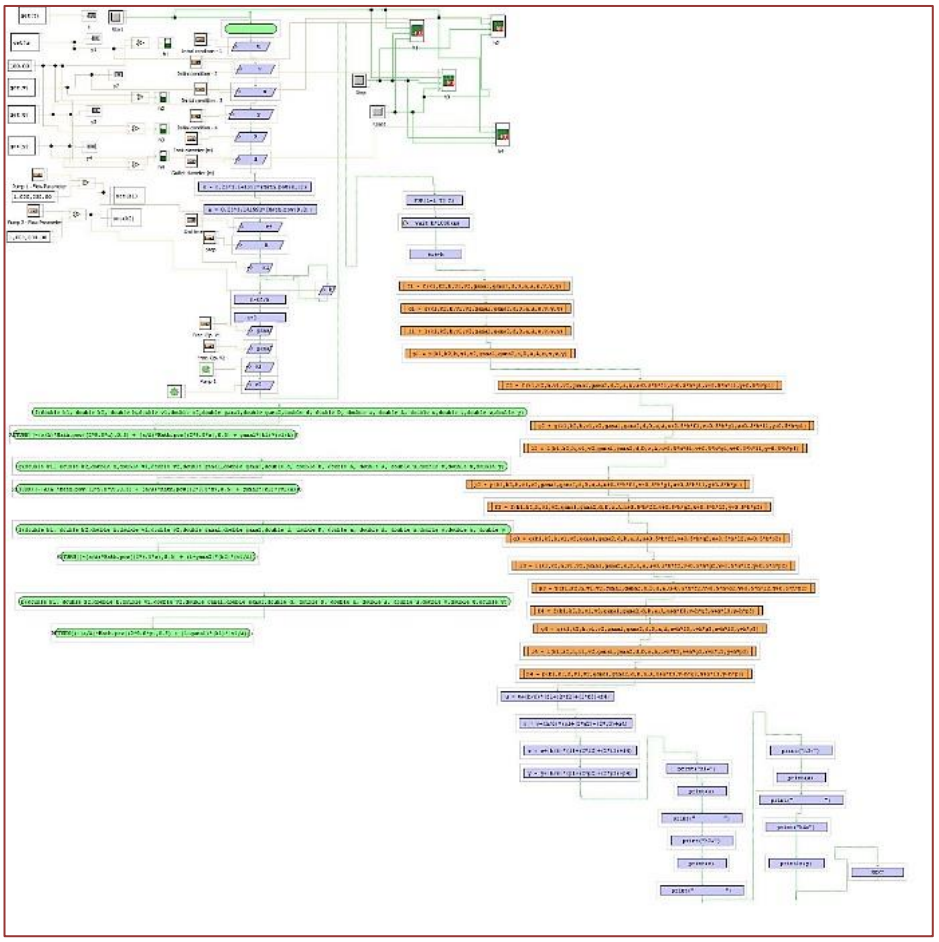
Conforme a Figura 4, é permitido ao usuário alterar de forma fácil e interativa todos os parâmetros do problema: abertura das válvulas, ganho e tensão das bombas, condições iniciais, passo de tempo de integração, tempo total de simulação e diâmetros de entrada e saída dos tanques. O reservatório ilustrado na Figura 1 não é mostrado na Figura 4, pois é considerado como sendo infinito. Os níveis variáveis ao longo do tempo dos tanques podem ser visualizados (em azul) bem como as curvas de evolução de cada nível h_i nos gráficos localizados no canto inferior esquerdo.

Figura 5 – Console de saída dos níveis de cada tanque (em metros) na forma de janela pop-up sobre o esquema visual ilustrado na Figura 4



A Figura 5 representa em separado o console de saída dos resultados ilustrados nas quatro curvas da Figura 4. Este console foi inserido de forma a validar o modelo com os dados numéricos, podendo-se assim compará-los com os obtidos com os outros softwares. Também é possível criar uma rotina para exportar os dados na forma de arquivo .csv.

Figura 6 – Lógica de programação em blocos desenvolvida no software MyOpenLab para solução do problema dos quatro tanques (equações 1.1 a 1.4)

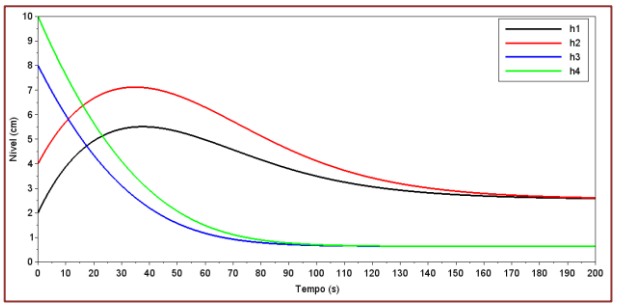


A Figura 6 ilustra o que acontece "por trás" do diagrama representado na Figura 4. A lógica de funcionamento do diagrama de Blocos do MyOpenLab possui muitas ferramentas similares às do Xcos e Modelica, tais como os blocos de operações aritméticas. Entretanto, o MyOpenLab não possui um bloco integrador como os aplicativos anteriores. Isto dificulta a criação de problemas dinâmicos. Para a integração das equações (1.1) – (1.4) o método de Runge-Kutta de quarta ordem foi implementado bloco a bloco (diagramas nas cores verde, laranja e azul) na metade inferior da Figura 6. Uma outra alternativa é a criação de uma rotina externa em Java Script, o que simplifica o diagrama, mas demanda conhecimento desta linguagem de programação. Os arquivos das simulações descritas anteriormente estão disponíveis em: https://github.com/ChangeDragon/FourTankPlant1.git.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 7 apresenta o comportamento dos níveis dos quatro tanques, em centímetros, em função do tempo, em segundos, com base nas condições estabelecidas na Tabela 2. A Figura 7 foi obtida a partir da janela gráfica do Scilab gerada a partir do script em formato '.sce'. Como o resultado é praticamente idêntico ao obtido usando as outras ferramentas (Xcos, Octave, OpenModelica e EMSO), a solução das equações (1.1) – (1.4) será mostrada apenas em uma vez.

Figura 7 – Resultado da simulação da planta de quatro tanques (Figura 1) a partir da integração das equações (1.1) – (1.4) realizada usando a linguagem de script nativa do Scilab



A simulação ilustrada na Figura 7 mostra um decréscimo suave dos níveis dos tanques 3 e 4, e um acréscimo de nível nos tanques 1 e 2 até a obtenção de um máximo entre os tempos de 30 e 40 segundos. Todos os tanques evoluem até a condição final de estado estacionário, a partir de 110 segundos para os tanques 3 e 4 e a partir de 200 segundos para os tanques 1 e 2. Os tanques 1 e 2 apresentam o ponto de nível máximo pois possuem duas fontes de alimentação: as bombas e o nível que cai dos tanques 3 e 4, ao passo que estes últimos possuem apenas as bombas como alimentação. Isto torna mais fácil com que os tanques 1 e 2 apresentem elevação de nível ainda que estejam também com descarga de líquido, de forma que possuem maior tendência a apresentarem valores máximos do nível de líquido. Além disso, os valores dos níveis h_1 e h_2 ao longo do tempo são sempre maiores do que os níveis h_3 e h_4 a partir dos tempos de 25 segundos ($h_1 > h_3, h_4$) e 20 segundos $h_2 > h_3, h_4$), aproximadamente, indicando que a descarga dos tanques 3 e 4 efetivamente alimenta os tanques 1 e 2. Os valores de estado estacionário (equações 2.1 a 2.4) atingidos para as variáveis h_1 e h_2 são iguais a 2,55 cm, e para as variáveis h_3 e h_4, iguais a 0,64 cm, tendo sido plenamente atingidos conforme simulação dinâmica ilustrada na Figura 7. O comportamento dinâmico praticamente idêntico foi obtido em todos os softwares e ambientes testados. A fim de comparar a qualidade dos resultados, a Tabela 3 apresenta os valores máximos e mínimos do desvio padrão para cada variável h_i, a fim de comparação.

Tabela 3 – Valores mínimos e máximos de desvio padrão para as variáveis h_1, h_2, h_3, h_4. O desvio para cada variável h_i foi calculado com base na população de valores do h_i obtido da simulação testada em cada um dos diferentes ambientes

Variável	Desvio mínimo (cm)	Desvio máximo (cm)
h_1	$3{,}63 \cdot 10^{-6}$	$8{,}45 \cdot 10^{-3}$
h_2	$2{,}87 \cdot 10^{-6}$	$7{,}51 \cdot 10^{-3}$
h_3	$4{,}35 \cdot 10^{-6}$	$7{,}82 \cdot 10^{-3}$
h_4	$4{,}86 \cdot 10^{-6}$	$9{,}115 \cdot 10^{-3}$

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3, considere a fórmula do desvio padrão da população (equação 3):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} h_{i,j} - \bar{h}_j}{n}} \quad (3)$$

Na equação (3), n é o número total de pontos ao longo do tempo, $h_{i,j}$ é o nível h_i simulado no experimento j ($j = 7$, pois sete ambientes foram testados: Scilab, script e Xcos; Octave, EMSO, OpenModelica, editando a linguagem Modelica e a partir do diagrama em OMedit; e MyOpenLab). Os valores da Tabela 3 apresentam os valores mínimos e máximos dos desvios-padrão dos níveis h_i nas interfaces computacionais utilizadas. Mesmo havendo uma ordem de magnitude ao redor de 10^3 entre os valores mínimos e máximos, e ainda considerando o máximo desvio padrão entre todos os resultados, relativo à variável h_4, estes máximos valores de desvio são muito pequenos frente à ordem de grandeza das variáveis de nível de líquido usadas na simulação. Isto demonstra uma diferença dos valores obtidos entre os diversos *solvers* de integração numérica nos ambientes computacionais com contribuição a partir da terceira ou quarta casa após a vírgula. Para propósitos de validação experimental, estas diferenças são adequadas. Entretanto, é necessária uma avaliação numérico-estatística mais robusta entre os softwares de acesso aberto testados (e mesmo entre outros) para uma avaliação mais apurada da diferença de qualidade entre todos.

6. CONCLUSÕES

A natureza numérica dos resultados obtidos usando os diferentes softwares de acesso aberto pouco diferiu entre si na solução do problema da planta de quatro tanques. Por ser um problema simples, é mais rápido escrever o código do mesmo em uma linguagem de programação (interpretada, como Scilab ou Octave, ou mesmo compilada, como C ou Fortran) ou de modelagem (como na linguagem Modelica ou EMSO) do que se trabalhar com abordagem gráfica, tais como no Xcos, MyOpenLab e usando OMEdit dentro do software OpenModelica. A despeito de alguns problemas encontrados nos ambientes testados, seu uso no eixo ensino-pesquisa-extensão pode ser promissor na resolução de diversos problemas, mesmo aqueles de elevado grau de complexidade.

Quanto a uma avaliação qualitativa do uso dos softwares usados, aqueles em que é possível escrever um código e rodá-lo são de mais fácil implementação. Enquadram-se nesta categoria O Scilab, Octave, EMSO e Linguagem Modelica. Especificamente quanto a esta última, independentemente de como a simulação é criada, existe um passo anterior de compilação do código Modelica antes da execução da simulação em si, o que causa um certo atraso na visualização dos resultados. A simulação realizada com abordagem gráfica no Xcos, OMEdit e MyOpenLab é interessante de um ponto de um ponto de vista “estético”, porém leva mais tempo para ser desenvolvida e sua intepretação visual é complicada, mesmo para problemas simples como o da planta de quatro tanques. Enfim, uma avaliação adequada entre as diferentes formas de resolver um problema de simulação computacional, não importando sua natureza, deve levar em conta a facilidade e rapidez de implementação, qualidade dos resultados e dos algoritmos implementados.

REFERÊNCIAS

[1] ANTÃO, R.; ANTUNES, J.; MOTA, A.; MARTINS, R.E. Model Predictive Control of Non-Linear Systems Using Tensor Flow-Based Models, Applied Sciences, v.10, n. 3958, 2020.

[2] ATKINSON, K.; HAN, W.; STEWART, D. Numerical Solution of Ordinary Differential Equations. New Jersey: John Wiley & Sons, cap.6 - 8, 2009.

[3] BANDAY, M.T.; AHMED, M.; JAN, T.R. Applications of e-Learning in engineering education: A case study. Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 123, 2014, p. 406 – 413.

[4] BEQUETTE, W.B. Process Dynamics Modeling, Analysis, and Simulation. Prentice-Hall, 1998, cap.5

[5] BEQUETTE, W.B. Process Control, Modeling, Design and Simulation. Prentice-Hall, 2002, cap. 3.

[6] BUTCHER, J.C. Numerical methods for ordinary differential equations in the 20th century. Journal of Computational and Applied Mathematics, v.125, 2000, p. 1-29.

[7] 22. BUTCHER, J.C. Numerical Methods for Ordinary Differential Equations. John Wiley & Sons, 2003. Cap. 3.

[8] COUGHANOWR, D.R.; LEBLANC, S.E. Process Systems Analysis and Control, 3rd Ed. New York: McGraw-Hill's Chemical Engineering Series, 2009. cap. 5 - 6.

[9] CUMMINGS, P.T.; GILMER, J.B. Open-source molecular modeling software in Chemical Engineering. Current Opinion in Chemical Engineering v. 23, 2019, p. 99–105.

[10] DINIZ, I.S.; SOUZA, W.A.; GÓES, L.C.S. Engenharia assistida por computador (CAD-CAE): implementação na grade curricular de curso de engenharia no Brasil. Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, v. 1, n. 1, 2013.

[11] DURO, N.; DORMIDO R.; VARGAS, H.; DORMIDO-CANTO S.; SÁNCHEZ, J. FARIAS, G.; DORMIDO, S. An integrated virtual and remote control lab: The three-tank system as a case study, Computing in Science and Engineering, v. 10, n. 4, 2008, p. 50–59.

[12] FEISE, H.J.; SCHAER, E. Mastering digitized Chemical Engineering. Education for Chemical Engineers, v.34, 2021, p. 78 – 86.

[13] GOMES, F.J.; BALDIOTI, H.R.; GAMA, V.A.; QUEIROZ, F.P. Módulo Laboratorial de Baixo Custo, Baseado em FOSS, para Educação em Engenharia de Controle de Processos Industriais. In: THE 9TH LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION – CLAGTEE, 2011, p.1 – 7.

[14] JOHANSSON, K.H. The Quadruple-Tank Process: A Multivariable Laboratory Process with an Adjustable Zero. IEEE Trans. on Control Systems Technology, v.8, n. 3, p. 456-465, 2000.

[15] KOMULAINEN, T.M.; ENEMARK-RASMUSSEN, R. SIN, G.; FLETCHER, J.P.; CAMERON, D. Experiences on dynamic simulation software in Chemical Engineering Education. Education for Chemical Engineers, v.7, 2012, p. 153 – 162.

[16] KUMAR, V.V.; CARBERRY, D.; BEENFELDT, C.; ANDERSSON, M.P.; MANSOURI, S.S.; GALLUCCI, F. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. Education for Chemical Engineers v. 36, 2021, p. 143 – 153.

[17] MAIA-AFONSO, E.J.; DIAS, L.V. O uso do software Scilab como ferramenta para o processo de ensino-aprendizagem da disciplina de métodos numéricos nos cursos de engenharias, Journal of Exact Sciences, v.25, n.1, 2020, p.9-17.

[18] MARTÍN, K.; CIRKA, L; FIKAR, M. Elab: a Lightweight SCADA System for Control Engineering Research Education. IFAC Papers Online v. 53-2, 2020, p. 17228 – 17233.

[19] MARTINS, J.B.; JORGE, D.C. Utilização de software livre em cursos de Engenharia. Revista Ensino de Ciências, v.7, n. 1, 2016.

[20] MERCY, D.; GIRIRAJKUMAR, S.M. Modeling and Analysis of a Real Time Spherical Tank Process for Sewage Treatment Plant, Applied Mathematics & Information Sciences, v.11, n. 5, 2017, 1491-1498.

[21] OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. 5ª Ed. São Paulo: Pearson, 2010. cap.4.

[22] 21. PETZOLD, L. A Description of DASSL: A Differential/Algebraic System Solver. Sandia Report,

1982.

[23] ORTIZ-LAVERDE, S.; RENGIFO, C.; COBO, M.; FIGUEREDO, M. Proposal of an open-source computational toolbox for solving PDEs in the context of chemical reaction engineering using FEniCS and complementary componentes. Heliyon, v.6, e05772, (2020)

[24] PÁVOL, B. Remote Control Laboratory for Three-Tank Hydraulic System Using Matlab, Websockets and JavaScript, IFAC v.53 n.2, 2020, p.17240 – 17245.

[25] PIANOSI, F.; SARRAZIN, F.; WAGENER T. How successfully is open-source research software adopted? Results and implications of surveying the users of a sensitivity analysis toolbox. Environmental Modelling and Software, v. 124, n. 104579, 2020.

[26] SÁNCHEZ, J.; ESQUEMBRE, F.; MARTÍN C.; DORMIDO, S.; DORMIDO-CANTO, S.; CANTO, R.D.; PASTOR, R. URQUÍA, A. Easy Java Simulations: an Open-Source Tool to Develop Interactive Virtual Laboratories Using MATLAB/Simulink, International Journal of Engineering Education. v. 21, n. 5, 2005, p. 798-813.

[27] SINGH, S.; VERMA, M.; KUMAR N. Open Source Software Vs Proprietary Software, International Journal of Scientific & Engineering Research v.8, n.12, 2017.

Capítulo 8

A relevância da tecnologia dos silos verticais para o Porto de Santos frente a defasagem dos armazens horizontais[2]

Jose Carlos Santos Santana
Thais Cristina Oliveira Maciel Corrêa

Resumo: A tecnologia de inovação no processo de construção de silos verticais tornou-se uma estratégia para locais de pouco espaço físico em portos brasileiros. Comparado com armazéns horizontais existem muitas vantagens. O trabalho tem o propósito de evidenciar a problemática no porto de Santos, referente a falta de espaço para guarda de granéis sólidos decorrente do uso de armazéns obsoletos. A armazenagem é uma fase indispensável na área portuária, já que durante esse processo a mercadoria é mantida até que seja deslocada para embarque no navio. Visando a dimensão que tem o Agronegócio para o Brasil, os armazéns de granéis horizontais se mostram inadequados e ineficientes. A manutenção da qualidade do produto, torna-se o principal fator desagregador durante a comercialização das comodities, mostrando-se também, vulneráveis a pragas, além de não serem largamente utilizados, requerem muita mão de obra. Para fazer o estudo, identificou-se o problema aplicando-se a ferramenta de planejamento MASP – metodologia de análise e solução de problemas, combinada com o PDCA. Foi complementado com a observação de fatos e documentos, além de fontes de dados oficiais, artigos e livros. A utilização de silos verticais de forma a oferecer mais dinâmica a exportação do granel solido no porto de Santos é uma mudança essencial, já que silos verticais possuem vantagens econômicas, logísticas e ambientais, propiciando aos portos benefícios, quando se trata de armazenamento eficiente no mercado globalizado de hoje.

Palavras-chave: Porto 1. armazenagem 2. terminais horizontais 3. silos 4.

[2] Trabalho foi orientado por Evandro Prestes Guerreiro..

1. INTRODUÇÃO

A armazenagem é um estágio essencial na área portuária, dado que durante esse processo a mercadoria é guardada até o embarque para o navio sendo fundamental para garantir o escoamento da produção agrícola nacional, bem como a recepção temporária de cargas de importação e exportação. Os processos de armazenagem e movimentação de cargas nos portos são componentes fundamentais de uma logística eficiente. A finalidade desses processos esta em manter a integridade do produto no contêiner, promover a segurança, otimizar as operações e roteirização e garantir o sucesso do resultado final.

A gestão portuária é uma atividade com uma perspectiva ampla, abrangendo o conhecimento técnico das atividades portuárias postuladas, portanto, é um campo profissional destinado a gerir negócios externos. Os gestores portuários exercem diversas atividades como simplificação, mediação, incentivos profissionais, avaliação e muitas outras funções. Além disso, gerência a comunicação entre os mercados doméstico e internacional das organizações portuárias em que atua.

O Porto de Santos é vital para o comércio das *commodities* com a China, que tem uma demanda crescente por matérias-primas brasileiras sendo esse um negócio lucrativo e atrativo para os investidores e o Agronegócio. Contudo sua área é carente de espaço para armazenagem além de não ser largamente suprido de armazéns providos de tecnologia adequada as exigências do mercado globalizado que gradativamente introduziu uma nova premissa nas transações internacionais, ou seja, a qualidade do grão. Assim sendo o trabalho se dispõe a esclarecer as causas dessa adversidade não apenas na localidade portuária, mas também no âmbito nacional.

O trabalho tem a finalidade de expor uma análise ampla da implantação de silos verticais no Porto de Santos enfatizando de forma especifica sua utilidade para a qualidade dos grãos armazenados e capacidade de guardar grandes volumes economizando espaço em relação aos armazéns horizontais que são poucos dotados de tecnologia para cumprir as exigências do mercado globalizado aprofundando a questão pesquisada para o âmbito nacional no quesito capacidade estática a qual por estar defasada vem a causar estrangulamento na logística de embarque e desembarque do porto em épocas de pico de safra.

Serão analisadas as solicitações do setor privado as esferas do governo pela reivindicação de áreas para construção de armazéns e o empenho de alguns terminais que foram precursores nesse processo de mudança no porto de Santos. O maior propósito está em trazer esclarecimento frente as exigências do mercado globalizado acerca das adversidades na agricultura que veio a torna-la mais tecnológica e digital para sanar os males das pragas e temperatura que ocasionam uma perda considerável de grãos em armazenamento.

Adentrando ao final do desenvolvimento serão questionados impactos desconcertantes da questão estática na armazenagem de grãos no Brasil que em épocas de pico de safra tem sido o fator desconstrutivo na logística do porto de Santos e em geral dos terminais graneleiros motivo esse pelo qual questionamos investimentos robustos não só na localidade do porto, mas também a nível nacional.

Sendo o Agronegócio um setor que a muitos anos vem exercendo um efeito multiplicador na economia brasileira impulsionando o crescimento do Brasil através de recordes sucessivos todos os anos safra após safra investir em tecnologia voltada a um melhor acondicionamento dos grãos é essencial. Os modernos sistemas mercadológicos, cada vez

mais dinâmicos, juntos com os novos conceitos de globalização, exigem que os processos produtivos se tornem competitivos quanto à qualidade dos produtos e ao preço de comercialização. O Brasil vem investindo com certa regularidade em outros modais de transporte, mas precisa pensar na estrutura de seus portos.

A dinâmica econômica atual exige que a atividade de planejamento seja realizada de forma estruturada e permanente, no sentido de prover aos setores de infraestrutura as condições necessárias para superar os desafios impostos a eles, tanto no que tange ao atendimento da demanda quanto à sua eficiência. São elementos fundamentais para manter a competitividade do país em qualquer período.

Face aos argumentos postulados, expressando a importância na discussão acerca da armazenagem para o agronegócio no porto de Santos e para todo o país, o presente trabalho tem por objetivo trazer a margem da luz a nossa ineficiência nesse setor no que diz respeito ao mercado globalizado não só dentro do porto Santos que possui grande relevância nas exportações brasileiras mas para as regiões produtoras ao qual o porto de Santos é extremamente requisitado por oferecer as melhores condições logísticas no trafego de mercadoria internacional , mas sempre ressaltando que qualquer problema vinculado ao porto de Santos também diz respeito ao âmbito nacional.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

A dinâmica do mundo globalizado e as exigências do mercado por produtos de qualidade exemplar nos põe diante do fato que os armazéns horizontais utilizados no porto de Santos são inadequados na questão ganho em espaço e desprovidos de tecnologia para suprir as exigências do pujante comércio exterior ao qual esse porto está intimamente vinculado fato esse que nos põe aqui a evidenciar os silos verticais que são providos de um sistema de tecnologia que vem a suprir todos os requisitos de qualidade para os grãos que o mercado impõe sendo esse um dos fatores vitais para o Brasil se manter como importante fornecedor de alimentos para o mundo. É preciso ter excelente acondicionamento e estar isento de umidade, temperatura controlada e proteção contra pragas aos quais na questão do uso dos armazéns horizontais não se mostram supridos destas qualidades o que vem a tornar imprescindível sua desmontagem diante do cenário atual de economia globalizada na qual a agricultura está se tornando digital. Posto que o porto é uma área de fluxo de mercadoria e não propriamente de armazenagem investir nos silos verticais em sua localidade e no âmbito nacional fator esse que vem pressionando safra a safra a logística de embarque e desembarque de seus terminais graneleiros é trazer rentabilidade a toda sua área de operações e ganhos em valores expressivos para toda cadeia logística do Brasil. A competitividade no Agronegócio é de extrema importância, pois permite o crescimento de mercados correntes ou em novos mercados de forma sustentável e que tenha capacidade de sobreviver (ZYLBERSZTAJN, 2000).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um Porto é uma zona de concentração de atividade, de conflitos, de criação de valor, para além de ser um centro de negócios, o porto é também um centro de logística que serve as empresas exportadoras e importadoras do hinterland, entrando em concorrência com outros portos da região que servem as mesmas empresas e necessidades, tendo de ser muito competitivo (JORNAL TRANSPORTES E NEGOCIOS – 20/10/2020).

A Gestão Portuária é a área profissional relacionada ao gerenciamento de diversas atividades correlacionadas a um Porto ou Terminal, compreendendo desde as operações de logística, manuseio de mercadorias, gestão e controle do fluxo de passageiros, comércio exterior, administração de serviços portuários e auxiliares enquanto que na Gestão Empresarial o que procede é uma estratégia de condução de negócios em busca de melhores resultados, partindo de ações que envolvem a organização de processos, o controle das finanças, a administração dos recursos humanos e materiais e tudo aquilo que é essencial para a sua manutenção. (INSTITUTO PAULISTA DE EXCELENCIA DA GESTÃO– 30/04/2019).

Já a gestão administrativa esta engajada na coordenação dos recursos administrativos da empresa de forma que é preciso organizar as necessidades, os meios e os recursos que cada setor tem e geri-los da melhor forma, ou seja, ela abarca alguns dos preceitos da Gestão Portuária, mas mais direcionadas a solucionar as adversidades internas. (IBCCOACHING – 08/07/2019).

Em 2021, o Brasil comercializou com a Ucrânia e Rússia cerca de 7,7 bilhões de dólares, o que representou 1 e meio por cento de todo o fluxo comercial do ano passado. O comércio exterior brasileiro seguiu a trajetória de recordes no início de 2022. As exportações no mês de janeiro cresceram 25,3% e atingiram US$ 19,67 bilhões. Foi o melhor resultado do mês na série histórica iniciada em 1997. As importações chegaram a US$ 19,85 bilhões, em alta de 24,6% – terceiro maior valor para o mês e o maior desde janeiro de 2014. Com isso, a corrente de comércio também foi recorde, subindo 25% e chegando a US$ 39,52 bilhões ao passo que em fevereiro o cenário entre esses países tornou-se de conflito o que veio a nos por em condição de alerta por serem ricos em reservas de fertilizantes o qual somos extremamente dependentes (PORTAL CORREIO – 10/02/2022).

Rússia e Bielorrússia respondem por 30,5% das exportações de fertilizantes potássicos e o Brasil é o maior importador mundial não apenas do total de fertilizantes como de cada um deles (nitrogenados, fosfatados e potássicos), seguido por EUA, Índia e China. Mais da metade dos produtos russos adquiridos pelo Brasil são fertilizantes potássicos, nitrogenados e compostos, que correspondem a 22,9%, 17,5% e 16,5% do total, respectivamente. Portanto, o Brasil enfrentaria dificuldades para substituir a oferta daqueles dois países por outros fornecedores, dado o seu peso na balança comercial entre os países (INSTITUTO DE ECONOMIA E PESQUISA PUBLICA - 15/03/2022).

O agronegócio, ao ser analisado isoladamente em meio a crise econômica, vem se destacando nos últimos meses em relação ao aumento de produção, exportação e importação. O destaque no crescimento de 2,0% nas importações do agronegócio em fevereiro foi o trigo, principal produto da pauta, com avanço de 10,9% em quantidade e 26,5% em valor. (AGENCIABRASIL - 23/03/2022).

A alta nos preços internacionais do grão vem sendo observada após o início do conflito entre Rússia e Ucrânia, dois dos maiores exportadores de trigo do mundo outro produto ao qual temos grande dependencia do mercado internacional (AGENCIABRASIL - 23/03/2022).

Os portos inteligentes apresentam operações logísticas automatizadas, incluindo dispositivos conectados via Internet das Coisas (IoT), redes de sensores inteligentes, dispositivos sem fio e data centers que fazem parte da infraestrutura do porto. Fornecer aos usuários maior segurança, confiabilidade, procedimentos logísticos mais curtos, serviços logísticos sustentáveis, e visando a integridade do meio ambiente e seu

entorno. Isso traz eficiência e eficácia as operações portuárias e seu desempenho logístico (UFABCDIVULGACIENCIA – 12/03/2021).

As integrações horizontais e verticais dizem respeito a sistemas de TI consistentes e interligados dentro das empresas e fora delas. Com redes universais de integração de dados as corporações da quarta revolução industrial nunca estarão isoladas (TECNOLOGIAPORTUARIA - 14/08/2019).

Em Cingapura, cerca de 80% das operações já são mecanizadas e a movimentação de contêineres é feita por robôs, mas dentre os mais providos da indústria 4.0 o Porto de Rotterdam tornou-se referência mundial em inteligência e a tecnologia está presente em todas as etapas do processo logístico portuário. A entrada e saída de navios são controladas por satélites (Agility Effects -2019).

O que nos põe em situação de alerta é o fato que no Brasil menos de 2% das nossas indústrias estão prontas para a Indústria 4.0. Na China, Estados Unidos e União Europeia estima-se que esse número chegue a 50%. Na Índia e Paquistão são cerca de 25%. Esses portos implantaram os conceitos da Indústria 4.0 nas operações de movimentação e armazenagem de contêineres e inovaram ao aplicar tecnologias de ponta, usando equipamentos integrados de última geração e alavancando a tecnologia da informação. Sistemas, Big Data, Sistemas de Simulação, Sistemas de Realidade Aumentada, Automação e Robótica, Internet das Coisas, Cibersegurança e Cloud (Cloud) (JORNAL DIARIO DO COMERCIO – 26/01/2021).

Neste cenário de inovação, as indústrias se tornam mais enxutas e eficientes e este avanço da indústria também requer que o armazenamento e distribuição dos produtos também evolua. E é aí que entra a Logística 4.0. Num cenário 4.0, a leitura do que acontece no porto é automatizada, o carregamento é por meio de sensores de peso, a liberação de caminhões é por meio de leitores óticos, navios são abastecidos por energia solar (TECNOLOGIAPORTUARIA – 14/08/2019).

Nas áreas portuárias, por exemplo, um STS - Ship to Shore (portainer) poderá ser operado de forma remota e o funcionário conseguirá trabalhar de casa. Além da automatização, a IoT permitirá mais transparência com rastreamento em tempo real, com informações mais precisas (TECNOLOGIA PORTUARIA – 17/01/2022).

A adoção da IoT no Porto de Santos, por exemplo, já é uma realidade. Sistemas são interligados para facilitar a comunicação entre os setores e para automatizar serviços que podem ser feitos por meio de máquinas (LOGINFO – 05/05/2021).

Porém, para além da automatização, a IA ajudou a zona portuária principalmente em relação ao Big Data, uma de suas subdivisões. Com essa tecnologia é possível cruzar dados e fazer insights importantes para trazer otimizações que vão ajudar a desenvolver o ambiente (LOGINFO – 05/05/2021).

Na armazenagem o Brasil já disponibiliza aos usuários tecnologias digitais de monitoramento e controle dos grãos, potencializando ainda mais os ganhos. As soluções digitais através de painéis inteligentes com acessibilidade na nuvem, possibilita monitorar e gerenciar, em tempo real, não apenas a armazenagem, mas também todos os equipamentos existentes nas unidades de beneficiamento de grãos. Essa conectividade gera dados e informações de suma importância, permitindo ao produtor tomar as ações corretivas necessárias e no momento ideal, evitando erros operacionais e perdas no processo (AGROPLANNING – 09/10/2020).

Sua atividade vai além da guarda e conservação de produtos agrícolas estocados. São ações e articulações que envolvem estudo, planejamento e administração, incluindo, por exemplo, a gestão do Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras, que mostra a localização geográfica dos armazéns brasileiros, informando a razão social, o tipo da estrutura, endereço, quantidade e sua capacidade estática de estocagem (CONAB – 09/08/2017).

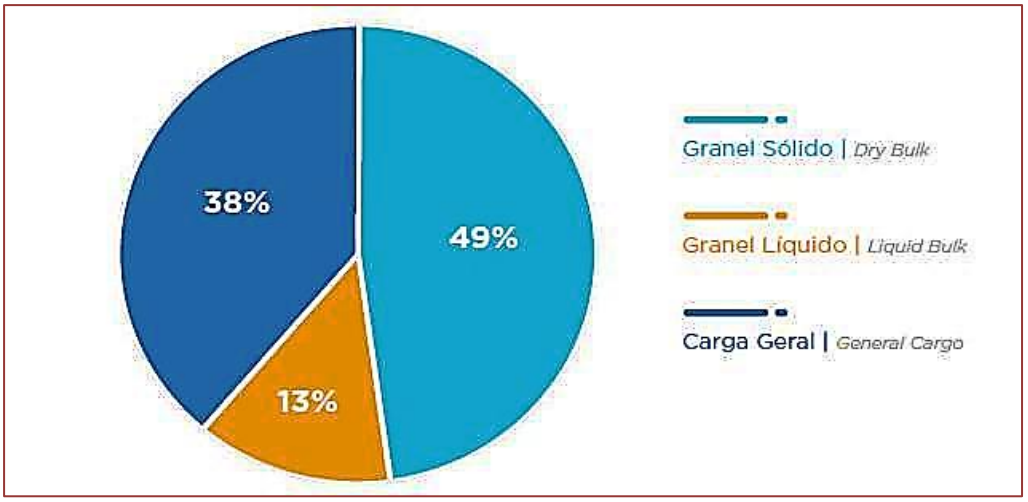
As alterações que ocorrem durante o armazenamento são refletidas em perdas quantitativas e/ou qualitativas. As quantitativas são as mais facilmente observáveis, refletem o metabolismo dos grãos e/ou organismos associados, resultando na redução do conteúdo da matéria seca dos grãos. Já as qualitativas são devidas, sobretudo, às reações químicas e enzimáticas, à presença de materiais estranhos, impurezas e ao ataque microbiano, resultando em perdas de valor nutricional, germinativo e comercial, com a possibilidade da formação de substâncias tóxicas no produto armazenado, se o processo não for adequadamente conduzido (LABGRAOS - 2017).

Existem funções intrínsecas e extrínsecas que estão ligadas diretamente a armazenagem de grãos. As funções intrínsecas correspondem à guarda de conservação dos produtos agrícolas. São elas: Conservação da Qualidade; Controle de Perdas; Estocagem de Excedente. Ja as, extrínsecas estão relacionadas com o transporte e comercialização da produção agrícola e dentre elas estão: Logística de Produção, Logística de Transporte, Suporte de Comercialização e Estoques Reguladores, Auxílio às Políticas Governamentais (BIAGI, BERTOL E CARNEIRO, 2002).

Na armazenagem, a questão abarca tanto o déficit da capacidade estática quanto a má distribuição das unidades armazenadoras, o que repercute também nos níveis de perda observados. Segundo Rodrigues denomina-se Capacidade Estática ao limite máximo nominal de carga que uma área pode receber simultaneamente, expressa em toneladas. (CONAB - 21/02/2019).

Assim sendo o maior objetivo do gerenciamento de armazenagem deve ser reduzir ao máximo o tempo médio de permanência dos lotes armazenados, obtendo maior rotatividade, e consequentemente maior lucratividade.

Grafico:1 - Perfil de cargas do Porto de Santos



Fonte: SPA. Fatos e Dados 2020.

O gráfico 1 tem a mostra o percentual de exportação do granel sólido no porto de santos sendo essa uma constante continua ininterrupta safra após safra.

4. DESENVOLVIMENTO DA TEMÁTICA

Os conflitos são de longa data entre as áreas destinadas aos serviços industriais e de logística devido ao imenso congestionamento advindo dos caminhões e tráfego de veículos leves na área urbana da cidade. Em se tratando de uma atividade econômica de extrema relevância para a saúde financeira de Santos os setores portuários e retro portuários argumentam com veemência a necessidade do aumento de terrenos destinados a esse propósito sob a justificativa que essas áreas e edificações nestes locais são escassos e possuem valores muito altos (PORTOGENTE - 01/01/2016).

Contudo, constata-se que ainda há terrenos vazios nas áreas em que hoje as atividades portuárias e retro portuárias são admitidas (PORTOGENTE - 01/01/2016).

Se da porteira para dentro a agricultura brasileira deu um salto de produção e produtividade, a logística necessária ao armazenamento e escoamento da produção caminhou a passos lentos (REPOSITÓRIO ENAP - 2020).

O mercado globalizado introduziu uma nova premissa na Agricultura a qualidade do que se produz fator esse imposto pela mudança de comportamento do próprio consumidor o que nos leva a busca constante pelo conhecimento sobre conservação de grãos e isso fica evidenciado quando são analisadas as potencialidades brasileiras de produção agrícola e são verificadas as astronômicas perdas de grande parte do que se produz, em função da falta ou inadequação tecnológica da infra-estrutura de unidades de secagem e armazenamento (LABGRAOS - 2017).

O conhecimento e a tecnologia vem se intensificando em larga escala na agricultura de modo que todos os setores da logística estão sendo contemplados com novas exigências por parte do mercado e setores industriais na solução das adversidades que surgem a todo momento e um exemplo disso estar no fato dos grãos serem organismos vivos, motivo pelo qual respiram e devido ao seu processo metabólico produzem gás carbono, água e calor, sendo estes dois últimos liberados na forma de vapor decorrendo dai o uso de tecnologia adequada a suplantar essa adversidade na armazenagem de grãos (LABGRAOS - 2017).

Quando o ambiente armazenador possui o Sistema de Exaustão, o vapor originário da respiração natural do grão iniciará o processo de convecção natural atingindo o topo da massa e, na sequência, será retirado do ambiente interno através da Exaustão (REVISTANEGOCIORURAL 25/04/2020).

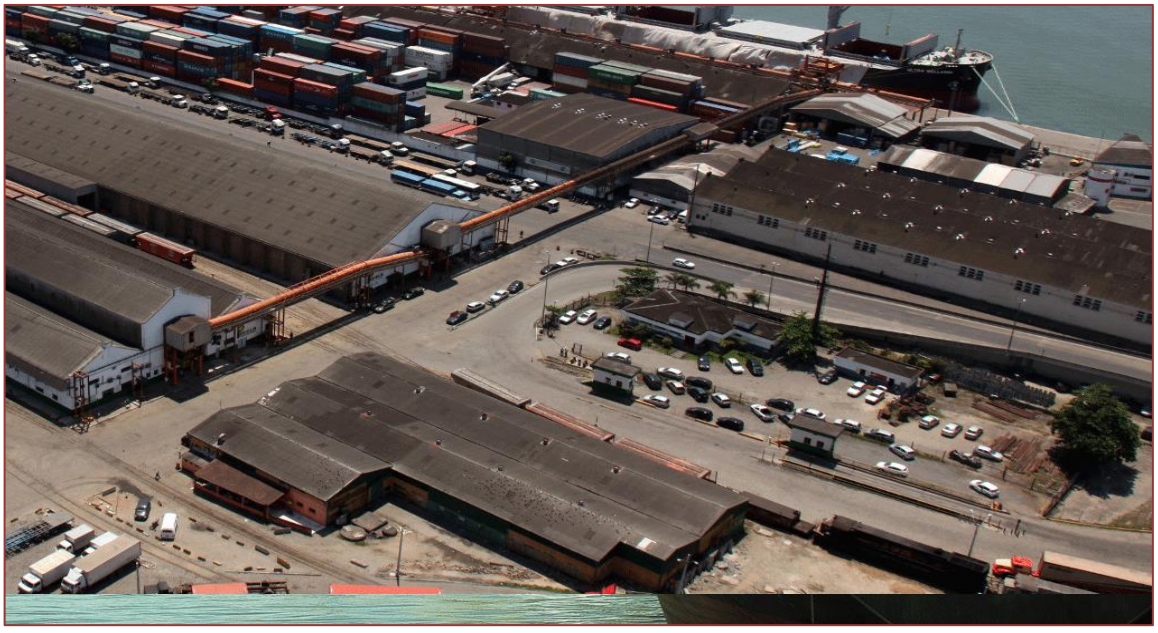
O primeiro benefício do Sistema de Exaustão dos silos verticais é a eliminação do fenômeno acima descrito, retirando continuamente o ar quente localizado entre a massa de grãos e o telhado e a água proveniente da evaporação dos grãos, possibilitando um equilíbrio entre as temperaturas interna e externa. Com a retirada da água pela exaustão, eliminaremos o fenômeno da condensação (REVISTANEGOCIORURAL - 25/04/2020).

O resfriamento natural, sem a aplicação da aeração forçada, gera ao armazenador mais duas vantagens: economia de energia elétrica, pela não necessidade de realizar a aeração (a massa já está a uma temperatura baixa) e redução da quebra técnica - (REVISTA NEGOCIO RURAL 25/04/2020).

Outro fator gerador de economia para os terminais é que os silos verticais não necessitam de máquinas para impulsionar a mercadoria em direção ao vazador, e oferecem a possibilidade de armazenagem por períodos mais longos, além de possibilitar menos trocas entre o ambiente externo e o local onde estão os grãos. Já no caso do uso dos armazéns para guardar o granel, o mesmo processo demandaria de 2 a 4 máquinas, ficando assim constatado uma economia significativa. Além disso, são dotados de sistema de termometria e aeração forçada, porém não são vedáveis adequadamente para neles se realizar o expurgo com fosfina. Na verdade, são muito abertos e, portanto, não permitem o uso eficaz da fosfina, ou outro gás fumigante, como método de combate aos insetos. Portanto a realização de fumigação em silos graneleiros horizontais é uma operação ineficiente e de alto risco e, por isso, deve ser evitada. Contudo no que diz respeito aos silos verticais, temos seus custos de manutenção, precisam ser limpos para substituir o produto quando ele compacta ou obstruem os canais de saída, e possuem menor capacidade de armazenamento em relação aos armazéns. Porém, as vantagens são: economia de operação, possibilidade de separar cargas com maior eficácia e qualidade, possui controle de pragas, além de ser capaz de reduzir perdas no processo e possui baixa emissão de partículas (EMBRAPA – 13/04/2022).

Quanto aos armazéns graneleiros são simples na estrutura e vantajosos na armazenagem porque os produtos são empilhados, em lajes de concreto executadas diretamente no solo e seu custo por tonelada instalada é baixo, pequeno espaço, mas com grande capacidade, maior rapidez de execução, porém são poucos versáteis na movimentação de grãos, além de possuirem poucas células e grande possibilidade de infiltração de água e seu tempo de vida útil gira em torno de 15 anos apesar desse fator não ser uma representação de lucratividade visto que estão desprovidos de alguns suportes tecnológicos em relação aos silos verticais. (MYFARM - 18/06/2020).

Figura: 1 Armazéns horizontais do Terminal Pérola, na região de Outeirinhos



Fonte: Portos e navios (10/12/2018).

A figura 1 demonstra a questão da exacerbada ocupação de espaço por parte dos armazéns horizontais além de dificultarem a boa logística de veículos em seu entorno.

Antes da armazenagem de fato os grãos passam pelos Silos de espera que guardam os grãos limpos, no entanto na condição de ainda estarem úmidos, por algum tempo até que sejam remanejados para o silo secador o qual possui ventilação de ar natural ou aquecido visando evitar o aquecimento da massa de grãos devido à umidade elevada. Esse procedimento de secagem é lento, portanto a umidade não pode ser muito alta para evitar o aquecimento da massa o que poderia levar a fermentação dos grãos prejudicando sua qualidade (MYFARM -1806/2020).

Logo após os grãos são direcionados para o silo armazenador aonde se for necessário os mesmos recebem aeração para resfriar e uniformizar a umidade. Para finalizar os processos, os silos de expedição são suspensos e, através de transportadores, recebem os grãos provenientes dos silos armazenadores (MYFARM - 18/06/2020).

Em seu destino final, os grãos são liberados por gravidade sobre o veículo transportador podendo ser caminhão ou vagão ferroviário (MYFARM - 18/06/2020).

Todos os fatores que ameaçam a perda de qualidade dos grãos causam um aumento de temperatura sendo essa uma adversidade advinda das constantes variações climáticas de mudança de temperatura externa aos quais tanto silos como armazéns estão sujeitos. Assim, o registro constante do aquecimento dos grãos pode impedir um processo de deterioração. Dessa forma logo após os grãos serem guardados manter o controle desses procedimentos citados requer uma estrutura de termometria composta por um conjunto de sensores distribuídos no interior do silo, os quais são responsáveis por fazer a medição periódica da temperatura da massa de grãos. Através desse sistema, é possível monitorar a atividade biológica do produto por meio da medição de temperatura em tempo real, o que ajuda na preservação e permite decidir qual a ação adequada em cada caso, seja expurgo, aeração ou transilagem (movimentação da massa de grãos) (REVISTA CULTIVAR – 05/04/2017).

Além de trazer benefícios ao produto a termometria digital é de fácil instalação e faz a leitura da temperatura de forma muito mais rápida se comparada a termometria analógica e seu sistema não requer calibração e não possui limitação no número de sensores a serem instalados no interior dos silos de armazenagem (REVISTA GLOBO RURAL – 14/12/2020).

É essencial planejar e fazer o estudo das causas antes de partir para as tomadas de decisões e o Plano PDZ criado e destinado estrategicamente a modernização continua nos portos do Brasil é a ferramenta adequada a fazer mais um novo processo de transformação. E tudo indica que haverá uma mudança de cenário gradativamente através da licitação do STS11. Ela é composta de uma carteira de 11 leilões projetados para serem realizados entre 2019/2022 onde deverão ser investidos R$ 6 bilhões. Sua área compreende uma extensão de 114.700 metros quadrados a qual deverá possuir uma capacidade estática em armazenagem de 516,6 mil toneladas destinada a construção do maior terminal de graneis sólidos vegetais do porto de Santos no Paquetá disponibilizando para o porto uma movimentação na ordem de 14,3 milhões de toneladas em grãos ao ano. Além disso estão previstos investimentos privados de R$758,15 milhões no decorrer de 25 anos de contrato e geração de 10.610 postos de empregos projeto esse que contemplará os armazéns 13,14 e 15 em sua primeira faze e o berço do armazém 12A na segunda fase (SINDICATO DOS OPERADORES PORTUARIOS DE SP - 16/02/2022).

No porto de Santos o terminal T-Grão foi um dos terminais percursor na evolução em relação a essa questão de armazenagem ao adotar o sistema vertical para guardar grãos em silos. Atualmente sua capacidade estática é de 114.000 toneladas para armazenagem em silos verticais, que é a forma de armazenagem mais especializada para esses tipos de grãos, garantindo a melhor conservação deles, reduzindo os riscos de contaminação. Sem falar na baixa geração de partículas no ambiente externo ao local de armazenagem (TESSANTOS - 10/02/2021).

Além disso é a única empresa do porto de Santos a ter uma logística de retaguarda fora da Baixada Santista, possibilitando a correção do fluxo rodoviário com o represamento dos caminhões em Sumaré, SP tornando-se dessa forma o primeiro operador do porto de Santos a atingir mais de 98% de assertividade nos agendamentos de veículos na chegada ao porto (T-GRÃO – 16/01/2021).

Hoje, o terminal tem três setores de armazenagem que utilizam uma mesma linha para embarque. Com processos bem definidos e equipamentos de última geração, o que veio a tornar a terminal referência no mercado. Seguindo esse mesmo preceito a Multigrain S/A composta de 3 silos verticais em concreto armado e o TES - Terminal Exportador, de Santos, está substituindo todos os equipamentos e estruturas, incluindo a demolição de dois armazéns, a construção de 11 silos de concreto e a substituição de shiploaders, por equipamentos mais modernos e eficientes para reduzir a emissão de particulados durante o embarque (REVISTA PORTOS E NAVIOS – 27/12/2018).

Segundo informações de Marcos Antônio Caleffi Domaneschi, Supervisor de Operações do TES, a escolha de silo no lugar de armazém, partiu em ganhar espaço em altura, confinamento e operacional.

A área do porto de Santos possui um solo ruim de manguezal, as fundações para grandes estruturas são desfavoráveis. “Cada silo leva 120 estacas e temos a vantagem da sua base ser sobre posta piso.

Mas apesar das vantagens financeiras e espaço aqui postulados também nos cabe salientar que como toda estrutura portuária destinada a armazenagem está sujeita a absorção de peso o que pode levar a ruptura de parafusos no caso de silos metálicos e dificuldade na vedação completa, o que normalmente requer maior dosagem do fumigante para compensar as perdas de gás. e também o fato de estar constantemente exposta a situações de intempéries decorrente de sua permanência constante ao meio ambiente e, fabricação com uso de material fraco o que pode diminuir o seu tempo de vida útil, dessa forma fica imprescindível a obtenção de pessoal de manutenção e obediência a sua total capacidade de armazenagem o que nem sempre é um fator respeitado. Além disso vale ressaltar a possibilidade de explosão através de faíscas ao entrar em contato com os gases gerados pela fermentação dos grãos durante a manutenção (SIAGRI– 09/03/2021).

Um exemplo de tecnologia voltada a suplantar essas adversidades são os Silos Cordoba que disponibiliza um revestimento metálico inovador, ProMag, fabricado com uma nova liga de alumínio + magnésio + zinco, que oferece proteção nos ambientes mais exigentes e confere maior vida útil ao material. Com uma excelente resistência à corrosão, até 10 vezes mais do que o aço galvanizado e quase 5 vezes mais do que o aço galvanizado Z-600 (600gr/m2).

Além do desmonte de armazéns inadequados ao contexto mercado globalizado há que se considera a logística a ser implantada na área escolhida e a tecnologia a qual funcionários

deverão estar munidos desse conhecimento que é imprescindível tanto dentro do porto como nos locais de produção para que a boa logística possa fluir bem de ponta a ponta.

Figura: 2 Complexos de silos utilizados pela empresa T-Grão no porto de Santos

Fonte: T-Grão Cargo (14/09/2017).

A figura 2 demonstra os silos verticais automatizados do terminal T-Grão sendo esse um investimento estratégico o que traz uma maior produtividade, bem como a total separação das cargas, permitindo ao terminal operar diversos tipos de grãos simultaneamente e de maneira segregada.

4.1. CAPACIDADE ESTATICA DE ARMAZENAMENTO NO BRAZIL

Para Guth a preocupação é com as colheitas crescentes, com previsão de 273 milhões de toneladas para este ano e cerca de 300 milhões nos próximos anos. O diferencial brasileiro é que, diferentemente de países como os EUA, não precisamos ter armazenagem estática para 100% da produção porque temos várias safras por ano. O importante é que haja na região uma capacidade estática que suporte o fluxo de produtos até o final da comercialização (CONAB - 02/06/2021).

No entanto no caso de regiões como o Centro-Oeste do país que possue vocação para grandes produções mesmo agilizando o escoamento da safra, quando o milho é colhido os silos ainda se encontram lotados de soja. O resultado é o cenário que vemos quase todos os anos no Mato Grosso: montanhas de milho a céu aberto por falta de armazéns. Além disso estão em áreas distantes dos portos, dificultando sua comercialização imediata (COOPERATIVA AGRÍCOLA MISTA DE ADAMANTINA – 04/05/2021).

No Brasil o mapa da localização das unidades armazenadoras está estagnado há muito tempo, das 172.205.580 toneladas de capacidade estática cadastradas, somente 24.820.721 toneladas estão nas fazendas (14,41%) e infelizmente parece ainda não haver um consenso de que o armazenamento é tão importante quanto o transporte, e faz parte preponderante do processo logístico (CONAB – abril de 2021).

Segundo o Ifope (2019), os principais problemas estão relacionados à infraestrutura precária, com atrasos e grandes filas nos portos, sistema ferroviário e hidroviário praticamente inexistentes, estradas em péssimas condições e um sistema defasado de armazenagem de grãos que leva o Brasil a perder todos os anos, algo em torno de 34 milhões de toneladas de grãos por falta de uma estrutura adequada de armazenagem, em todas as etapas da cadeia produtiva (SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA - 05/12/2017).

Cláudio Graeff, da Abag, resume que hoje, sem dúvida nenhuma, a falta de silo é a principal deficiência da cadeia produtiva do agronegócio (FARMNEWS – 05/12/2017).

De acordo com Guth os produtores têm optado por operar cada vez mais com os portos do Arco Norte, que movimentaram em 2015, 21% das cargas portuárias, e em 2020 chegaram a 34%, ultrapassando o volume do porto de Santos. Além disso é preciso encontrar soluções emergenciais, já que o cenário indica que a capacidade de escoamento pelos portos deve se esgotar até 2025 (PORTOS E NAVIOS – 09/05/2020).

Uma solução estaria na automatização e modernização dos portos de forma a agilizar a saída do produto reduzindo assim a pressão sobre a capacidade estática nacional (PORTOS E NAVIOS – 09/04/ 2020).

Stelito Reis, disse que o déficit de estocagem chega a 71% da capacidade estática no Matopiba (confluência dos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), ou cerca de 12 milhões de toneladas de grãos que ficam no aguardo de armazenamento a cada safra. No Centro-Oeste, a utilização está próxima do limite e quase não há armazéns disponíveis (REVISTA NEGOCIO RURAL – 07/05/2021).

Carlos Cogo, diz que a paridade entre capacidade estática e produção de grãos era equilibrada historicamente, mas se descolou a partir de 2010. Desde então, a produção cresceu a uma taxa de 5,1% ao ano, e a armazenagem teve alta de apenas 1,9% ao ano (COOPERATIVA AGRÍCOLA MISTA DE ADAMANTINA – 04/05/2021).

No levantamento da Cogo, o déficit atual no Mato Grosso é de 40 milhões de toneladas, em Goiás chega a 14,5 milhões e no Mato Grosso do Sul, 12,9 milhões. Na região do Matopiba, são 12 milhões. “Já existe déficit até em Estados onde não havia esse problema, como o Paraná, com 12 milhões de toneladas", ressalta o consultor (CONAB abril de 2021).

A análise do mercado internacional aponta para uma realidade bem distinta da existente no Brasil, Na Argentina a capacidade instalada nas fazendas representa 40%, na Austrália 35%, no Canadá 85%, nos Estados Unidos 65% e na Europa, a participação dessas unidades é de 50%. Dessa forma grande parte dos produtores brasileiros vem-se obrigados a tirar a safra de sua propriedade logo após a colheita, quando o frete e os valores de armazenagem estão mais caros (CONAB - abril de 2021).

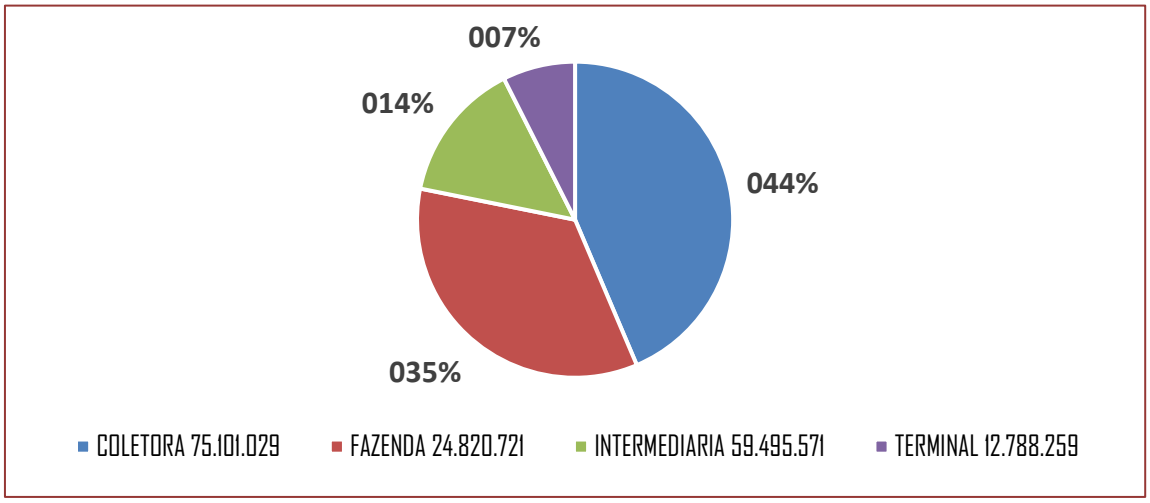
O produtor tem que se livrar de sua colheita e perde nessa operação de 8% a 9% do seu lucro líquido. Nesta safra, houve uma diferença de mais de 50% no preço da saca de soja ao longo do ano. Quem teve como armazenar para vender mais tarde ganhou muito dinheiro, pontua Cogo. (ALFONSIN - 02/12/2020).

Ele acrescenta que um volume muito grande de grãos, cerca de 10,3 milhões de toneladas, acaba armazenado nos portos, que deveriam ser locais apenas de fluxo dos produtos para atender aos mercados (ALFONSIN– 02/12/2020).

Segundo o superintendente da Conab, três pontos devem ser considerados para minimizar o risco da falta de armazéns para o escoamento da safra nacional. São eles:

- Melhoria na qualidade de estrutura e operacionalização dos armazéns;
- Estudos que definam a capacidade estática necessária para o Brasil;
- Incentivo à construção de estruturas de armazenagem, especialmente em fazendas (SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA - 21/05/2020).

GRÁFICO: 2 Localização espacial das estruturas de armazenagem no Brasil –Ton



Fonte: Conab (abril de 2021).

De acordo com o gráfico tendo os terminais uma menor área disponível para armazenagem o ideal seria automatizar os portos agilizando dessa forma a logística de embarque.

4.2. DISCORRENDO A DEFASAGEM EM ARMAZENAGEM NO AMBITO NACIONAL

Segundo o Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras, entre 1982 e 2000, a capacidade estática brasileira era superior à produção de grãos, mas em 2001, houve uma inversão. A produção ultrapassou essa capacidade e continuou a crescer em proporção maior. Entre as safras de 2001/02 até 2018/19, enquanto a produção de grãos cresceu 140%, a capacidade estática aumentou apenas 87% (SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA - 21/05/2020).

Esse menor crescimento da infraestrutura de armazenagem tem causa multifatorial como a questão da engenharia, visto que unidades armazenadoras são estruturas complexas e caras de se construir, de forma que, em geral, é melhor esperar que a necessidade de aumentar a capacidade estática se consolide, para depois fazer o investimento, afirma o especialista da Conab (SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA - 21/05/2020).

Outro ponto mencionado por Neto está relacionado às dificuldades logísticas do Brasil, das quais a armazenagem faz parte (SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA - 21/05/2020).

A questão dos modos de transporte no país sempre se mostrou tão grave que o maior esforço vem sendo direcionado a essa parte do processo de escoamento. Até porque, como

já informado, antes de 2001 sobrava espaço para o armazenamento de grãos. O momento atual merece que a armazenagem no país seja vista como o próximo fator logístico a ser impulsionado, sob pena de passar a estrangular o escoamento da safra nacional (SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA - 21/05/2020).

A qualidade do grão é fundamental para estabelecer a sua competitividade no mercado interno e externo. Sendo assim, o armazenamento é etapa fundamental para garantir a conservação e a qualidade dos produtos armazenados, até sua destinação final para os consumidores. A armazenagem de grãos permite inclusive que o produtor gerencie o risco de preços, decidindo a melhor época de Escola Nacional de Administração Pública.

Por ser uma área estratégica voltada à logística do abastecimento, a armazenagem de grãos, por ser um dos componentes da Política Agrícola e Pecuária instituída pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), tem como principal finalidade, a garantia no fluxo de abastecimento de maneira constante, proporcionando maior estabilidade nos preços e na qualidade de mercado (CONAB, 2017).

Para Thomé Guth apesar dos desafios existentes, o Brasil ainda não se encontra em uma condição que se configura como gargalo. Há sim um descolamento entre produção e capacidade estática disponível, mas não de forma generalizada no país, e a situação é mais grave especialmente em algumas regiões produtoras e em determinados períodos do ano (CONAB – 02/06/2021).

As dificuldades são inúmeras e diversificadas dependendo do tipo do granel a ser manuseado e um exemplo disso está no arroz já que sua secagem precisa ser feita no dia seguinte após a colheita. Deve-se secar respeitando o grão, de forma gradual, com a temperatura crescendo aos poucos até a umidade adequada que é de 2% a 13% e nisso fica evidenciado que não é apenas uma questão do espaço, mas também de tecnologia visto que cada grão pode ter a sua peculiaridade e entender a complexidade de sua adversidade é meio caminho andado na resolução dos obstaculos. Assim, os silos de armazenagem devem ter a capacidade de manter a temperatura e umidades ideais, além de dispor de dispositivos de controle contra pragas, pois estes são fatores que exercem grande influência na qualidade dos grãos (ORNAL DIA DE CAMPO - 18/04/2022).

Um dos motivos desta disparidade entre a evolução tecnológica em cultivos e o setor de armazenagem é que este muitas vezes é tratado de forma secundária, fato esse que hoje não pode mais ocorrer para quem busca a máxima produção.

De acordo com o IBGE A capacidade de armazenamento agrícola no Brasil foi de 176,3 milhões de toneladas no segundo semestre de 2020, o que representa uma redução de 0,1% em relação ao semestre anterior. O número total de estabelecimentos ativos ficou estável em 7,9 mil (AKEMI NITAHARA, DA AGÊNCIA BRASIL – 10/06/2021).

Entre as regiões, Sudeste e Sul tiveram quedas de 0,1% na armazenagem total e as demais mantiveram a estabilidade. A maior parte da armazenagem de grãos é feita em silos, que respondem por 49,5% da capacidade do país. No semestre analisado, o volume dos silos chegou a 87,3 milhões de toneladas, um aumento de 0,6% em relação ao primeiro semestre de 2020 (AKEMI NITAHARA, DA AGÊNCIA BRASIL – 10/06/2021).

Em seguida aparecem os armazéns graneleiros e granelizados, que respondem por 37,5% da armazenagem nacional. Esse tipo de estoque atingiu 66,1 milhões de toneladas de capacidade útil armazenável, uma marca que é 0,6% menor do que a verificada no semestre anterior (AKEMI NITAHARA, DA AGÊNCIA BRASIL – 10/06/2021).

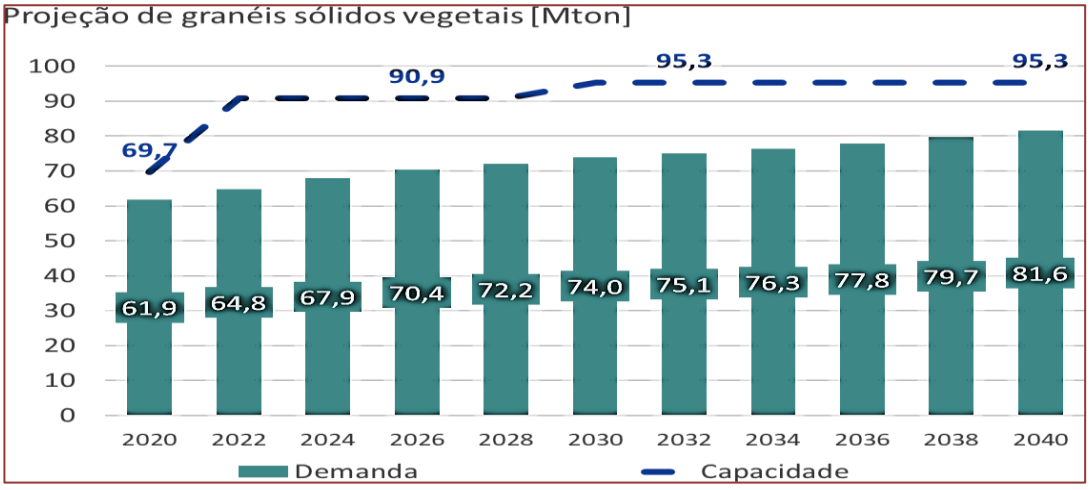
Já os armazéns convencionais, estruturais e infláveis representam 13% da capacidade total de armazenagem nacional e somaram 22,9 milhões de toneladas, uma queda de 1,6% em relação ao primeiro semestre de 2020 (AKEMI NITAHARA, DA AGÊNCIA BRASIL – 10/06/2021).

Os silos predominam na região Sul, respondendo por 61,7% da capacidade armazenadora regional e 49,8% da capacidade total de silos do país. Os graneleiros e granelizados são mais frequentes no Centro-Oeste, com 53,4% da capacidade da região e 55,6% do total nacional (AKEMI NITAHARA, DA AGÊNCIA BRASIL – 10/06/2021).

Já os armazéns convencionais, estruturais e infláveis aparecem mais no Sul, com 35,3%, e no Sudeste, com 31,1% do total. Segundo o IBGE, o Sudeste é a principal região produtora de café, que é armazenado em sacarias e utiliza este tipo de armazém (AKEMI NITAHARA, DA AGÊNCIA BRASIL – 10/06/2021).

Entre os estados, Mato Grosso possui a maior capacidade de armazenagem do país, com 43,6 milhões de toneladas, sendo 58,8% do tipo graneleiros e 34% de silos. O Rio Grande do Sul conta com 32,7 milhões de toneladas de capacidade e o Paraná, 32,1 milhões (AKEMI NITAHARA, DA AGÊNCIA BRASIL – 10/06/2021).

GRÁFICO: 3 Comparação do volume de safra versus a disponibilidade de capacidade estática



Fonte: (SPA; Plano Mestre – julho de 2020).

De acordo com o gráfico a demanda para movimentação de granéis sólidos só tende a crescer e o espaço em armazenagem precisa ir de encontro com essa premissa ou haverá colapso no que tange a capacidade para esse fim no porto de Santos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme se verificou neste estudo, o objetivo de apresentar os benefícios do uso de silos verticais frente a defasagem dos armazéns horizontais, enfrenta obstáculos em diversas ordens, que impactam em três dimensões: infraestrutura, investimento e tecnologia.

Na infraestrutura verificou-se a ausência ou inadequação de armazéns supridos de tecnologia além de investimento em mão de obra especializada para lidar com o avanço tecnológico nos grandes centros produtores e portos.

Nos investimentos, identificou-se que nos últimos 5 anos a tendência foi de diminuição principalmente, pela atuação do setor público, frente a outras prioridades como a construção de rodovias e malhas ferroviárias interligando grandes centros de produção a áreas portuárias.

Quanto a tecnologia, percebe-se a desfasagem marcante conforme estudos e diagnósticos na área, deixando o porto de Santos menos competitivo, frente as demandas internacionais e mesmo nacionais, como o caso do porto de Paranaguá, onde a tecnologia neste sentido é muito mais priorizada o que faz dele hoje o maior terminal de contêineres da América do Sul sendo esse o principal concorrente do porto de Santos na movimentação de granel solido.

O problema apresentado no estudo refere-se a ocupação do espaço físico na área destinada ao porto de Santos, que em função da localização vinculada a cidade de Santos, bem como, os limites ambientais referentes a mata atlântica, torna o problema ainda mais complexo. Pelo lado da gestão pública, existem fatores ligados a priorização de investimento na infraestrutura e, neste caso, independente da importância para o mercado internacional, quanto a presença do comércio brasileiro, a articulação política e de política de desenvolvimento é uma variável decisiva no futuro das operações portuárias, especificamente, no contexto da armazenagem onde investimentos consideráveis em silos verticais é de suma importância posto que sua tecnologia é capaz de manter a integridade biológica, integridade física, estado sanitário, grau de pureza e umidade do grão em perfeito estado de conservação através da termometria digital, sistemas de exaustão e aeração instalados em seu interior o que já não ocorre no caso dos armazéns horizontais que apesar de serem capaz de guardar maior volume em grãos também são causadores das maiores perdas tanto a medio como a longo prazo através de pragas biológicas e por não serem adequados a receber gás fumigante em seu interior o qual é largamente utilizado no combate aos insetos.

Enfatizar o Porto de Santos nessas questões mostra que o cenário vai além de sua paisagem local e que seu problema de armazenagem e tecnologia voltada a qualidade dos grãos destinados a exportação diz respeito a todos os órgãos de governo e setores privados operantes no setor.

O que vem tornando o Brasil inoperante na questão armazenagem não é apenas a falta de investimento no Porto de Santos e sim em outras localidades que apresentam melhores condições de espaço, navegação e proximidade com outros parceiros de extrema importância para o Agronegócio como o Continente Asiático por possuir mais de dois bilhões de consumidores.

Regiões de extrema relevância em produção como o Centro-Oeste são obrigados a deslocar todo o seu montante em produção para o Sudeste apesar de estarem mais próximos dos portos do Arco Norte que podem vir a suprir essa demanda em armazenagem e escoamento se dotados por parte do governo e setores privados de investimentos voltados para esse quesito.

Dessa forma fica evidenciado que não é só a disparidade em investimentos diretos na armazenagem, transporte e tecnologia no porto de Santos e sim diversificar essa política

de investimentos de forma ampla nas regiões produtoras de acordo com sua vocação seguindo o mesmo preceito para os portos.

Assim sendo é preciso conscientizar não só os produtores dos grandes centros mas também aos entendedores das cadeias logísticas do Agronegócio que a qualidade está intimamente vinculada a complexidade pela busca da manutenção continua de novas tecnologias vinculada a construção de estruturas em portos e grandes centros de produção associados a projetos tecnológicos que possibilitem toda a logística de procedimentos aos quais os grãos estão submetidos da origem ao seu destino final ou seja armazenagem, transporte e confinamento em armazéns portuários até seu embarque nos navios.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os aspectos observados conclui-se que a adesão dos silos verticais é de suma importância para o armazenamento portuário. Levando em conta o espaço que o agronegócio ocupa na economia brasileira e a necessidade de um planejamento estrutural permanente, a dimensão do gargalo logístico no porto de Santos e a falta de locais adequados para armazenagem, é preciso levar em consideração que já é uma estrutura adotada por diversos países influentes e que os resultados apresentados se mostraram promissores.

Um grande exemplo do sistema de armazenagem com excelentes resultados é a empresa T-Grão que adotou os silos verticais por ser a forma mais especializada para armazenagem de grãos, já que dispensa a necessidade de equipamentos adicionais para escoar a carga, garantindo a total integridade com a preservação da granulometria e impossibilitando a contaminação da mesma por agentes externos como óleo, pneus, resíduos, mas é de suma importância reforçar que a manutenção deve ser feita correntemente e periodicamente levando em conta os riscos e uma boa escolha de material para a estrutura.

Estudando a área portuária santista é possível observar que existem terrenos disponíveis para compra onde a atividade portuária é permitida, o que facilita a implantação dos silos verticais.

Questionar o tipo de silo e sua tecnologia voltada a armazenagem e qualidade do grão decorre da questão das exigências externas advindas do mercado, mas diante dos argumentos aqui fincados fica evidente o não comprometimento do setor político e órgãos dos setores privados e agropecuário em um projeto que abrangesse toda a vocação que tem o país em produção visto que é crescente em larga escala no Brasil a produção de grãos safra após safra.

Os métodos utilizados na pesquisa com o auxilio da ferramenta de planejamento MASP combinada com o PDCA se mostraram eficientes no que tangiu a revelar uma solução plausível na opção entre os dois métodos de armazenagem utilizados além de trazer transparência a respeito da necessidade de uma tecnologia eficiente na solução da questão postulada.

A vista disso, as dificuldades são eminentes, porém a viabilidade da construção dos silos verticais e seus benefícios para o porto de Santos levando em conta os exemplos é de grande relevância.

REFERÊNCIAS

[1] AGROINFORME Déficit de armazenagem de grãos deve superar 100 milhões de toneladas no Brasil em 2021 Disponível em: <http://agroinforme.com.br/2020/12/02/deficit-de-armazenagem-de-graos-deve-superar-100-milhoes-de-toneladas-no-brasil-em-2021/> Acesso em: 30 abril 2022

[2] AGROLINK. Armazenagem pode "estrangular" safra brasileira. Armazenagem pode "estrangular" safra brasileira, [s. l.], 21 maio 2020. Disponível em: https://www.sna.agr.br/armazenagem-pode-estrangular-safra-brasileira/. Acesso em: 29 abr. 2022.

[3] ALFONSIN AGRICULTURA – Déficit de armazenagem de grãos deve superar 100 milhões de toneladas no Brasil em 2021. 2020 Disponível em: < https://alfonsin.com.br/agricultura-dficit-de-armazenagem-de-gros-deve-superar-100-milhes-de-toneladas-no-brasil-em-2021/> Acesso em: 30 abril 2022

[4] ASSESSORIA DE IMPRENSA E COMUNICAÇÃO. Ipea analisa impacto da guerra entre Rússia e Ucrânia na economia mundial e brasileira. Conflito afeta principalmente exportações de petróleo, trigo, milho, óleo de girassol e fertilizantes, [s. l.], 15 mar. 2022. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=39031&Itemid=3. Acesso em: 29 abr. 2022.

[5] BRASIL, Cristina Indio. Comércio exterior do agronegócio tem saldo de US$ 9,3 bi em fevereiro. Balança comercial registra superávit de US$ 4,0 milhões, [s. l.], 23 mar. 2022. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-03/comercio-exterior-do-agronegocio-tem-saldo-de-us-93-bi-em-fevereiro#:~:text=Publicado%20em%2023%2F03%2F2022,comercial%20em%20fevereiro%20deste%20ano. Acesso em: 29 abr. 2022.

[6] CONAB Mercado de Frete e Conjuntura de Exportação Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/boletim-logistico/item/download/37307_3037108c4e1d127665d9c6ec29b18239/> Acesso em: 30 abril 2022

[7] CONAB. Unidade de Ponta Grossa (PR) recebe sistema de termometria para armazenar soja e milho. Unidade de Ponta Grossa (PR) recebe sistema de termometria para armazenar soja e milho, [s. l.], 5 abr. 2017. Disponível em: https://revistacultivar.com.br/noticias/unidade-de-ponta-grossa-pr-recebe-sistema-de-termometria-para-armazenar-soja-e-milho. Acesso em: 29 abr. 2022.

[8] DIADECAMPO Jornal dia de campo informação que produz. 2022 Disponível em: < http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=23322&secao=Gest%E3o&c2=Armazenagem#null/> Acesso em: 30 abril 2022

[9] DIARIODOLITORAL Leilão de terminal de grãos no Porto de Santos será no dia 30. 2022 Disponível em: < https://www.diariodolitoral.com.br/cotidiano/leilao-de-terminal-de-graos-no-porto-de-santos-sera-no-dia-30/154403/> Acesso em: 30 abril 2022

[10] EIFERT, Eduardo da Costa; ELIAS, Moacir Cardoso; FRANCO, Daniel Fernandez; FRAGOSO, Daniel de Brito; BARRIGOSI, José Alexandre Freitas. Ávore do Conhecimento - Arroz. Armazenamento. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fvuufpzf02wyiv80166sqfjiozd6f.html. Acesso em: 29 abr. 2022.

[11] EQUIPE CYCLOAR. Como armazenar grãos: conheça os procedimentos para a armazenagem correta. Armazenagem de Grãos. Disponível em: https://www.cycloar.ind.br/como-armazenar-graos-conheca-os-procedimentos-para-a-armazenagem-correta/. Acesso em: 29 abr. 2022.

[12] GESTÃO EMPRESARIAL. ENTENDA O QUE É E COMO ELA É APLICADA NAS EMPRESAS, [s. l.], 30 abr. 2019. Disponível em: https://www.ipeg.org.br/gestao-empresarial-entenda-o-que-e-e-como-ela-e-aplicada-nas-empresas/. Acesso em: 29 abr. 2022.

[13] IPOG BLOG. Como construir uma carreira de sucesso na Área Portuária?. Gestão Portuária: mercado de trabalho, qualificações e atuação, [s. l.], 18 mar. 2019. Disponível em: https://blog.ipog.edu.br/engenharia-e-arquitetura/gestao-portuaria/. Acesso em: 29 abr. 2022.

[14] LABGRAOS TECNOLOGIAS DE PRÉ-ARMAZENAMENTO, ARMAZENAMENTO E CONSERVAÇÃO DE GRÃOS. 2017 Disponível em: http://labgraos.com.br/manager/uploads/arquivo/material---prova-1.pdf Acesso em: 30 abril 2022

[15] LAVAGNOLI, Silvia. Indústria 4.0. 9 pilares tecnológicos, [s. l.], 13 ago. 2018. Disponível em: https://opencadd.com.br/9-pilares-da-industria-4-0/. Acesso em: 29 abr. 2022.

[16] MALLET, Adriano. A importância de um sistema de exaustão e iluminação na armazenagem de grãos. A importância de um sistema de exaustão e iluminação na armazenagem de grãos, [s. l.], 25 abr. 2020. Disponível em: https://www.revistanegociorural.com.br/colunas/agricultura-em-pauta/a-importancia-de-um-sistema-de-exaustao-e-iluminacao-na-armazenagem-de-graos/. Acesso em: 29 abr. 2022.

[17] MALLET, Adriano. Deterioração dos Grãos Armazenados. Os Ganhos da Exaustão, [s. l.], 5 set. 2011. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/culturas/aves/coluna/deterioracao-dos-graos-armazenados_386193.html. Acesso em: 29 abr. 2022.

[18] MOURA, Prof. Dr. Delmo Alves. Logística 4.0. Aplicação de Tecnologias nas Operações Portuárias , [s. l.], 12 mar. 2021. Disponível em: https://ufabcdivulgaciencia.proec.ufabc.edu.br/2021/03/12/logistica-4-0-aplicacao-de-tecnologias-nas-operacoes-portuarias-v-4-n-3-p-6-2021/. Acesso em: 29 abr. 2022.

[19] MYFARM Armazenagem de grãos: saiba tudo sobre silos. 2020 Disponível em: <https://www.myfarm.com.br/tudo-sobre-silos/> Acesso em: 30 abril 2022

[20] PORTAL DA INDUSTRIA. Exportação no Brasil: presença no mercado global: Comércio Exterior é a atividade que atua em relações de compra e venda de produtos, bens e serviços por meio do comércio entre diferentes países. As atividades de compra e venda são chamadas respectivamente de importações e exportações.. Exportações Brasil. Disponível em: https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/exportacao-e-comercio-exterior/. Acesso em: 29 abr. 2022.

[21] REVISTACAMPOENEGOCIOS Sistema de exaustão garante qualidade ao grão armazenado. 2016 Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/sistema-de-exaustao-garante-qualidade-ao-grao-armazenado/> Acesso em: 30 abril 2022

[22] REVISTANEGOCIORURAL Seminário discute déficit de armazenagem para grãos e aponta soluções emergenciais. 2021 Diponivel em:<https://www.revistanegociorural.com.br/noticias/seminario-discute-deficit-de-armazenagem-para-graos-e-aponta-solucoes-emergenciais /> Acesso em: 30 abril 2022

[23] SINDAPORT Esgotamento de portos acentua urgência de ampliar armazenagem. 2021 <http://www.sindaport.com.br/conteudo.php?id=24284https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/exportacao-e-comercio-exterior/> Acesso em: 30 abril 2022

[24] SISTEMA de exaustão garante qualidade ao grão armazenado. As novas tecnologias desenvolvidas para o setor de armazenagem promovem a troca permanente do calor interno pelo ar do ambiente externo, reduzindo drasticamente a presença de calor e umidade, além de evitar a formação de condensação, [s. l.], 11 out. 2016. Disponível em: https://revistacampoenegocios.com.br/sistema-de-exaustao-garante-qualidade-ao-grao-armazenado/. Acesso em: 29 abr. 2022.

[25] SNA A Lavoura Online: Déficit de armazéns faz Brasil perder 34 milhões de toneladas de grãos por ano 2017 Disponível em: <https://www.sna.agr.br/a-lavoura-online-deficit-de-armazens-faz-brasil-perder-34-milhoes-de-toneladas-de-graos-por-ano/> Acesso em: 30 abril 2022.

[26] TECNOLOGIA PORTUÁRIA. Veja as principais tendências da TI para 2022 e como os portos brasileiros serão impactados. Tendências da TI para 2022 : Como vão impactar os portos brasileiros, [s. l.], 17 jan. 2022. Disponível em: http://www.tecnologiaportuaria.info/2022/01/veja-as-principais-tendencias-da-ti-para-2022.html. Acesso em: 29 abr. 2022.

[27] TGRAO QUEM SOMOS. 2020 Disponível em: <https://tgrao.com.br/quem-somos/> Acesso em: 30 abril 2022

[28] VALOR ECONÔMICO. Esgotamento de portos acentua urgência de ampliar armazenagem. Para técnicos da Conab, capacidade dos terminais do país de escoar grãos deve chegar ao limite até 2025, [s. l.], 10 maio 2021. Disponível em: http://www.sindaport.com.br/conteudo.php?id=24284. Acesso em: 29 abr. 2022.

Capítulo 9

Manual básico ilustrado do Reômetro de torque Haake PolyLab OS

Ryan Ferreira dos Santos
Luziany Gomes da Nóbrega
André Romulo Rozado de Sousa
Lucineide Balbino da Silva

Resumo: O presente manual foi elaborado com o intuito de auxiliar aos usuários do Reômetro de torque PolyLab OS - Thermo Scientific localizado no Laboratório de Materiais Poliméricos do Departamento de Engenharia de Materiais da UFPB. Uma vez que o manual desse equipamento é bastante detalhado e fornecido em inglês pelo fabricante. Embora a estrutura do equipamento seja robusta o seu funcionamento requer procedimentos para evitar danos. O manual elaborado traz o passo a passo que facilita a compreensão e execução dos experimentos em segurança. São apresentados os dois softwares detalhadamente, os quais controlam o funcionamento do equipamento. Os procedimentos são descritos desde a configuração dos ensaios usando os softwares até a preparação do equipamento para a realização do experimento, iniciando com o encaixe dos rotores, seguida pela alimentação do material polimérico, mistura e finalização com a limpeza do equipamento. Importante salientar a importância do presente manual em função dos procedimentos exigidos ao se utilizar o reômetro de torque, que vai além da realização de simples misturas de pequenas quantidades de polímeros, permitindo análises dos polímeros com respeito as suas propriedades reológicas, degradação térmica, entre outros. Portanto, a falta de conhecimento do usuário pode levá-lo a danificar o equipamento por manuseá-lo de forma incorreta, como também comprometer a sua pesquisa ao desperdiçar material.

Palavras-chave: Reômetro de Torque Haake, procedimentos de uso, ações seguras.

1. INTRODUÇÃO

O manual de uma máquina tem valor técnico irrefutável para a obtenção de dados acurados, além de garantir que a vida útil do equipamento ocorra sem avarias proeminentes de uso inadequado pelos usuários. O manual do reômetro de torque PolyLab OS é um tanto complexo porque a configuração dos ensaios envolve dois softwares, além dos cuidados com as etapas operacionais. A elaboração do referido manual básico contou com a consulta ao Manual em inglês do equipamento [1], o qual contêm informações ainda mais específicas, devendo ser consultado pelo usuário sempre que necessitar de maior detalhamento sobre o equipamento. Além disso, o presente memorial contou com as realizações de diversos ensaios para misturar blendas poliméricas pelos autores Santos, R. F. e Nóbrega, G. L., sob supervisão de Sousa, A.R.R. e orientação de Silva, L.B. As atividades laboratoriais foram desenvolvidas nos períodos relativos a dois anos de iniciação científica (2020 e 2022), ao estágio supervisionado e ao trabalho de conclusão do curso de Engenharia de Material, ambos em 2023, o que totalizou 410 (quatrocentas e dez) experimentos. Recentemente, Santos e Silva [2] avaliaram a influência da rotação dos rotores nos parâmetros de processo de blendas processadas em situações de gasto energético devido a elevada massa molecular de um dos componentes das blendas. A partir da experiência adquirida ficou constatado que o reômetro de torque Haake necessita de atenção redobrada quando se fala em problemas encontrados pelos usuários na sua utilização, isso porque, o manual em inglês do equipamento contém uma gama abrangente de informações.

O reômetro de torque é ideal para medir as propriedades reológicas de materiais utilizando quantidades pequenas. A reologia é o estudo do fluxo e da deformação de materiais, principalmente líquidos e materiais viscoelásticos quando submetidos às forças aplicadas, fornecendo informações valiosas sobre suas características físicas e comportamento de fluxo. Além disso, esse equipamento também é uma ferramenta de laboratório usada para avaliar as misturas de diversos materiais poliméricos durante o tempo de processamento sob uma rotação contínua e controlada dos rotores. E assim, informações são fornecidas sobre o comportamento de fusão, influência de aditivos, estabilidade térmica, viscosidade, entre outras. Sendo de interesse do usuário melhor conhecer a potencialidade desse equipamento no desenvolvimento das pesquisas. Nota-se que ao redor do mundo, diversos pesquisadores têm usando o reômetro de torque em suas pesquisas [3-8].

Ao nível operacional, antes de iniciar qualquer procedimento de análise, uma atenção especial para todos os usuários que utilizam o Haake diz respeito a quantidade de material a ser utilizada na mistura. Há um desafio na determinação da quantidade de massa necessária a cada composição, pois é feito o cálculo para cada material polimérico, tomando como base a capacidade da câmera de mistura, que no caso do reômetro de torque é dada em termos de volume, pois a massa pode variar conforme a densidade do material. Portanto, para o ajuste da composição do material a ser misturado, ressalta-se que é necessário o cálculo de volume da mistura, considerando as densidades dos materiais, baseado na Regra da Mistura [8]. É de grande importância o cálculo do volume, devido à variação e diversificação das densidades dos polímeros, também é notório a variação de volumes para cada material polimérico, isto é, quando o material absorve calor ocorre a expansão do material polimérico, com isso tem-se o aumento do volume específico. A câmera do Reômetro de torque Haake não pode ser totalmente preenchida para que não ocorra falhas no equipamento [1] e nem interfira na obtenção dos dados da pesquisa. Além disso, para fins de pesquisa o preenchimento da câmara de mistura em

0,85 foi adotado por Zhang, et al [9] para usar os dados de torque, velocidade e temperatura na modelagem das propriedades reológicas de compósitos polímeros.

No laboratório de Materiais Poliméricos do Departamento de Engenharia de Materiais/Centro de Tecnologia/ da Universidade Federal da Paraíba são desenvolvidas diversas pesquisas utilizando o reômetro de torque PolyLab OS. As pesquisas são desenvolvidas tanto ao nível de graduação (iniciação científica, estágio supervisionado e trabalho de conclusão de curso) como ao nível de pós-graduação (mestrado e doutorado). Essas pesquisas têm resultado em diversas publicações nos temas de nanocompósitos, compósitos e blendas poliméricas [10-23].

Assim, a demanda pela utilização do equipamento fortalece o objetivo do presente trabalho, que é elaborar um manual ilustrado e acessível para fins de operação do Reômetro de torque, indicando cada parte a ser seguida desde o início até a finalização do experimento.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

Os materiais utilizados foram O polietileno de ultra-alta massa molar (UHMWPE) comercial em pó (UTEC lote 3041) e Polietileno de alta densidade (PEAD) IA58, os quais foram produzidos pela BRASKEM na cidade de Camaçari – BA. O antioxidante Irganox foi fornecido pelo sigma aldrich [2].

Os ensaios de reometria de torque Polylab OS da Haake foram realizados, em um misturador interno, acoplado a um Reômetro de torque PolyLab OS - Thermo Scientific, com a operação de rotores do tipo roller e com velocidade de rotação de 10, 20, 30 e 40 RPM, sob uma temperatura de 190 °C, todos com duração de 10 minutos e com atmosfera de ar. A massa da câmara de mistura foi mantida constante com 50g para todas as amostras nesse trabalho. A composição das blendas foi calculada em porcentagem em peso, sendo 100/0, 90/10, 70/30. Todas as blendas foram aditivadas com 1% de Antioxidante Irganox [2].

A massa total das amostras foi calculada usando a Regra da Mistura, de acordo com a Equação 1, totalizando 50 gramas, sendo que a primeira amostra foi de 100% de PEAD e o restante com blendas de PEAD a 90% e UHMWPE contendo 10%, posteriormente de PEAD 70% e UHMWPE 30%.

$$p_c = p_m V_m + p_r V_r \qquad (1)$$

Onde:

ρ_c – Massa específica do compósito (g/cm^3);

ρ_m – Massa específica da matriz (g/cm^3);

V_m – Volume da matriz (cm^3);

ρ_r – Massa específica do reforço (g/cm^3);

V_r – Volume do reforço se for um compósito ou do outro polímero se for uma blenda (cm^3).

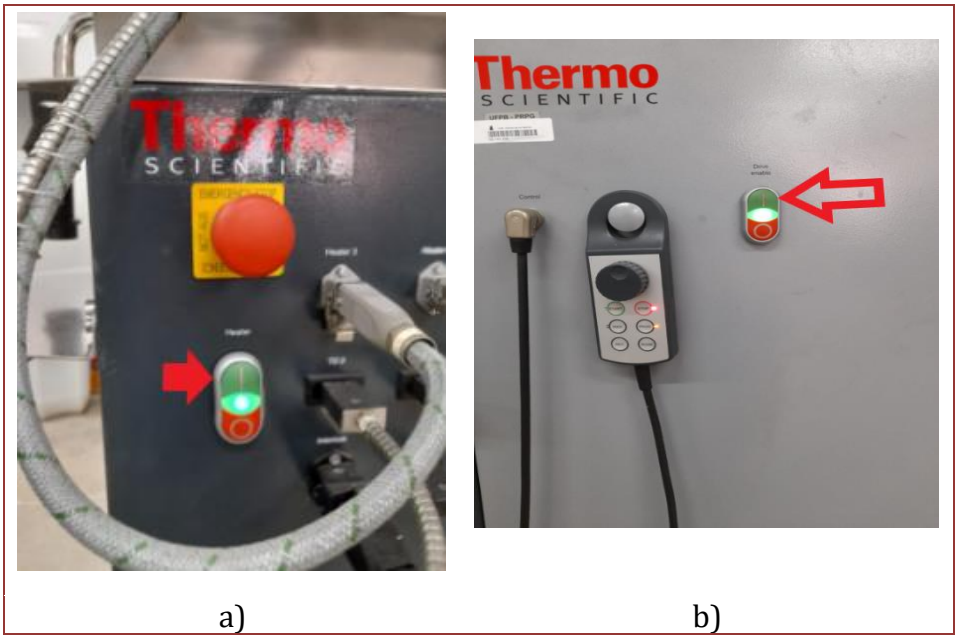
Os vários experimentos realizados, totalizando 410 (quatrocentos e dez), fizeram parte de projetos de pesquisas desenvolvidos por dos Santos, R. F., sob a orientação de Silva, L.B. Estes experimentos serviram como base para a elaboração do presente manual básico e foram desenvolvidos no Laboratório de Materiais Poliméricos do Departamento de Engenharia de Materiais/Centro de Tecnologia/ da Universidade Federal da Paraíba.

3. APRESENTAÇÃO DO MANUAL

A Primeira parte do uso do equipamento de torque Haake, se refere a alguns procedimentos a serem realizados mesmo antes que seja ligado o equipamento. Sendo assim, o primeiro processo a ser feito é ligar o compressor que deve manter a pressão em torno de 4 bar, isso deve ser feito quarenta minutos antes que seja colocada a primeira amostra. Em seguida deve-se ligar o Haake, esse se inicia pelo interruptor principal (Figura 1, letra A), em seguida o computador, o interruptor de ligamento da unidade de acionamento (Figura 1, letra B) e por fim o controle remoto (Figura 1, letra C) é ligado (veja Figura 2b) para possibilitar o uso do software. O botão de emergência é indicado na Figura 1, letra D. Em seguida liga-se o interruptor de ativação do aquecimento (Figura 1, letra E), também indicado na Figura 2a por uma seta vermelha. Sem essa ação, a máquina não iniciaria o aquecimento e consequentemente não se poderia dar início ao experimento.

Figura 1: A) Interruptor principal; B) Interruptor de ligamento da unidade; C) Controle remoto; D) Botão de emergência; E) Interruptor de ativação, se ligado-verde, se desligado-vermelho

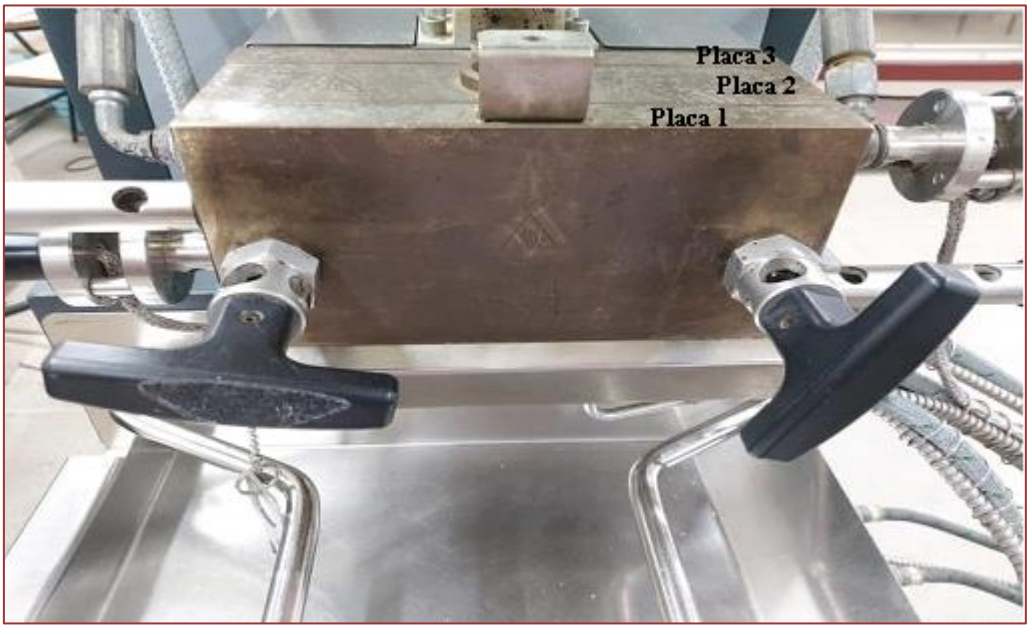
Figura 2: a) Interruptor de ativação do aquecimento; b) Controle remoto no modo de ligamento



a) b)

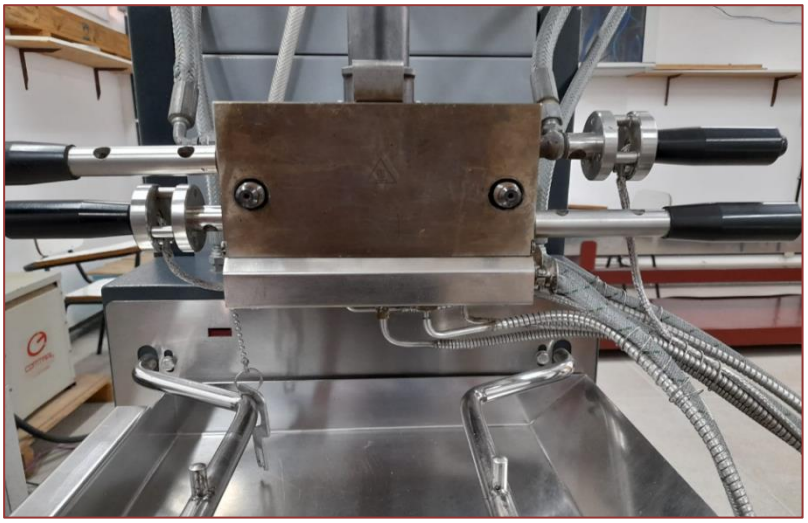
Esses procedimentos devem ser feitos mesmo antes de ligar o computador, como também pode-se inserir os rotores na placa 3 (Figura 3), isto porque, otimiza o tempo em que o usuário irá esperar até que os rotores e a câmara (Figura 3) fiquem devidamente quentes para o começo do trabalho Verificar se as "manivelas" estão afrouxadas antes de ligar o aquecimento, para evitar um aperto excessivo devido à dilatação das placas. Sugere-se ligar o computador assim que acionar o aquecimento, até para verificar em qual temperatura a máquina está programada. Para tanto, dar-se início a abertura das placas (Figura 3), onde deve-se primeiro remover as duas manivelas de bloqueio da placa 1 (Figura 3).

Figura 3: Placas de aquecimento e as duas manivelas



A Figura 4 mostra como deve ficar a placa 1 sem as “manivelas”, a função delas é manter a câmara fechada, fixando as placas e consequentemente manter o polímero na câmara.

Figura 4. Primeira placa sem as manivelas



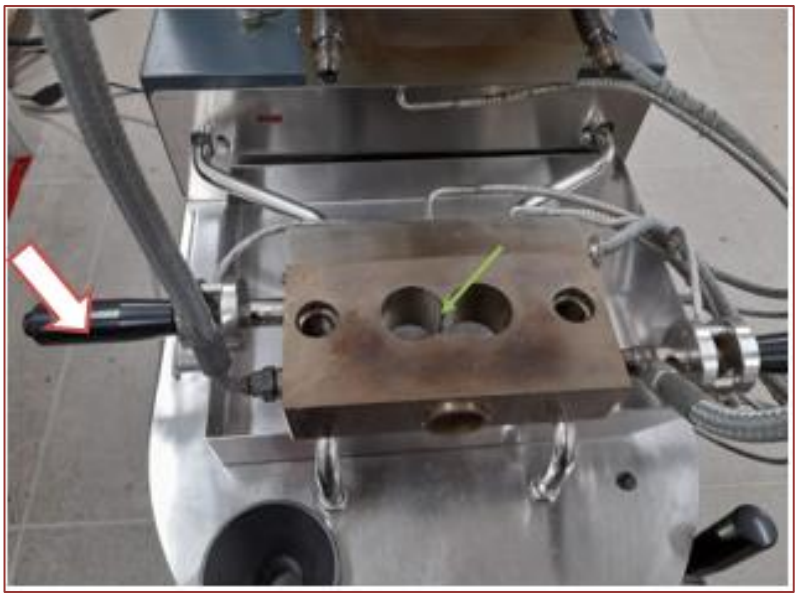
Para a segurança do usuário e melhor manuseio da placa 1 deve-se colocá-la no fixador no lado direito na parte inferior da máquina, como mostrado na Figura 5.

Figura 5: Placa 1 no fixador

Na sequência deve-se retirar a placa 2, conforme mostra a Figura 6, para liberar o acesso para a colocação dos rotores na placa 3, a seta branca indica o apoio do lado esquerdo para a retirada da segunda placa, um outro apoio similar se localiza também no lado direito da placa 2. Vale salientar que a câmara de mistura se localiza na placa 2, como também três termopares, um em cada placa, já na placa 2, onde fica a câmara, o termopar

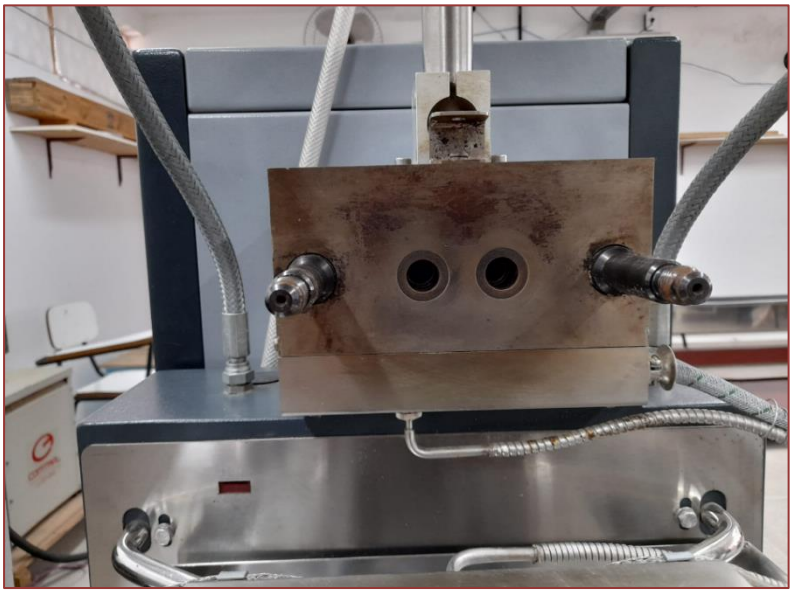
se situa na parte de baixo, conforme indicado pela seta verde na Figura 6. Atenção ao utilizar um polímero rígido, que deve ter formato bem pequeno à semelhança de "pellets" de matéria prima para não danificar o termopar.

Figura 6: Segunda placa após a remoção



Por fim, com a retirada da segunda placa temos em vista a terceira e última placa que é fixada ao equipamento e contêm dois orifícios, onde os rotores são inseridos (Figura 7).

Figura 7: Terceira placa



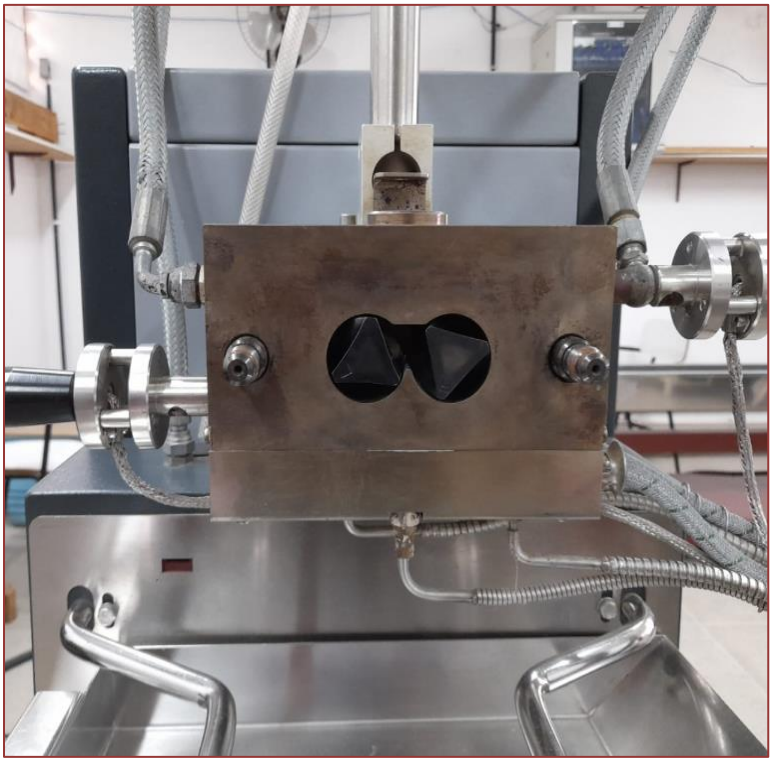
Para a colocação dos dois rotores, vale salientar que se deve ter cautela e uma gama de cuidados, isso porque cada rotor deve ser introduzido de forma correta. São gravadas letras em ambos rotores para identificar o lado em que ele deverá ser inserido, sendo eles R (Right - direita) e L (Left - esquerda), conforme indicado na Figura 8. Ao inserir o rotor

com a marcação R deve-se girar manualmente e lentamente no sentido horário até que seja travado, procedimento similar deve ser feito para o outro rotor com a marcação L no sentido anti-horário. O tipo de rotor depende do material a ser estudado, visto que, o rotor tipo “cam” deverá ser utilizado para materiais elastoméricos, enquanto o tipo “roller” para materiais termoplásticos.

Figura 8. Rotores tipo “cam” com as marcações L - Left e R - Right

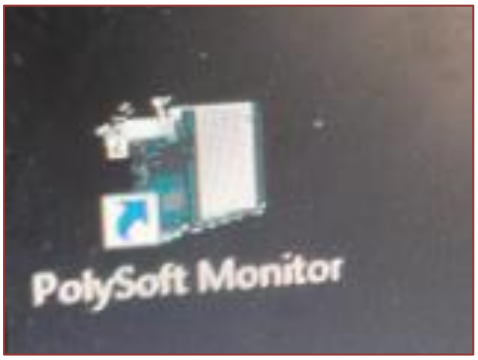
Seguindo o procedimento de colocação dos rotores, na Figura 9 temos já os rotores tipo “roller” em suas posições, fixados e travados. Após essa etapa, então deve-se colocar todas as placas na sequência 3, 2 e 1. Por fim, as duas manivelas fazem os ajustes necessários para efetivar o bloqueio das placas e evitar que o polímero após o amolecimento escorra entre as mesmas.

Figura 9. Rotores tipo “roller” fixados e travados na placa 3 e envoltos pela placa 2



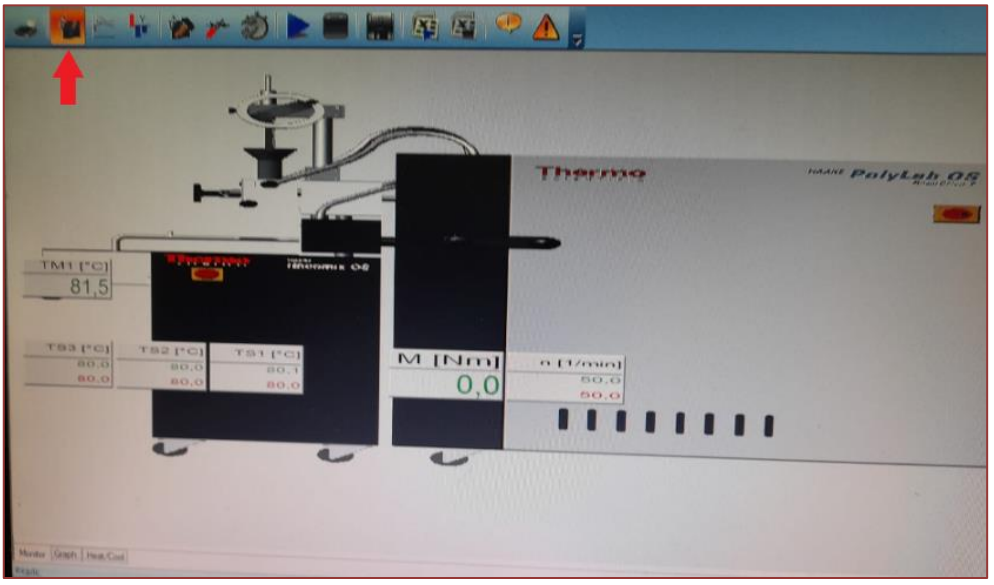
Após esses procedimentos relatados acima, deve-se ligar o Software PolySoft Monitor para dar início a configuração do experimento (Figura 10).

Figura 10. Ícone do software Polysoft monitor



Abrindo esse software, se ajusta e configura as temperaturas das três placas, conforme segue o passo a passo adiante. Na figura 11, a temperatura foi selecionada no ícone indicado pela seta vermelha.

Figura 11. Software Polysoft monitor



Nessa etapa também se seleciona o tipo dos rotores, a calibração do torque e das temperaturas da câmara (placa 2) e das outras placas (1 e 3) de acordo com o estabelecido no ensaio. Na Figura 12 são mostrados os tipos de rotores a serem selecionados. Na Figura 13, o sexto botão indicado por uma seta vermelha permite a calibração dos rotores escolhidos.

Figura 12. Selecionando os rotores

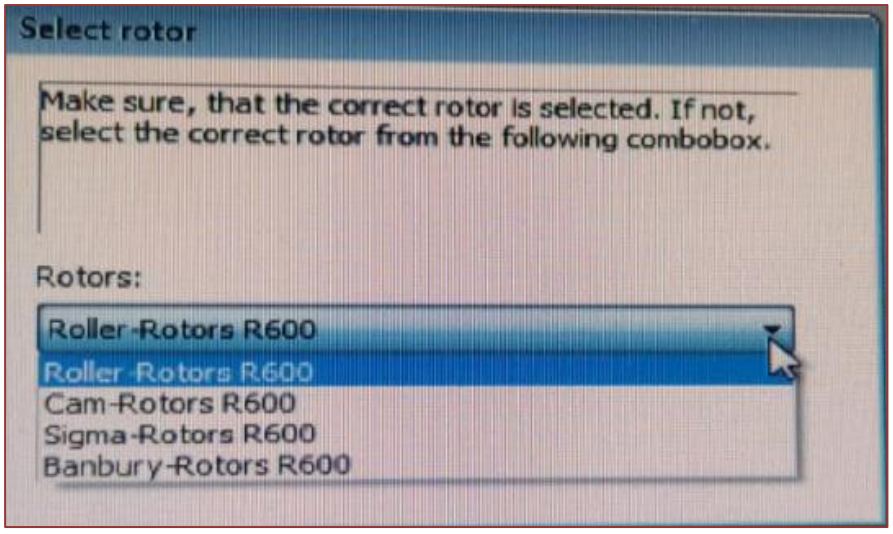
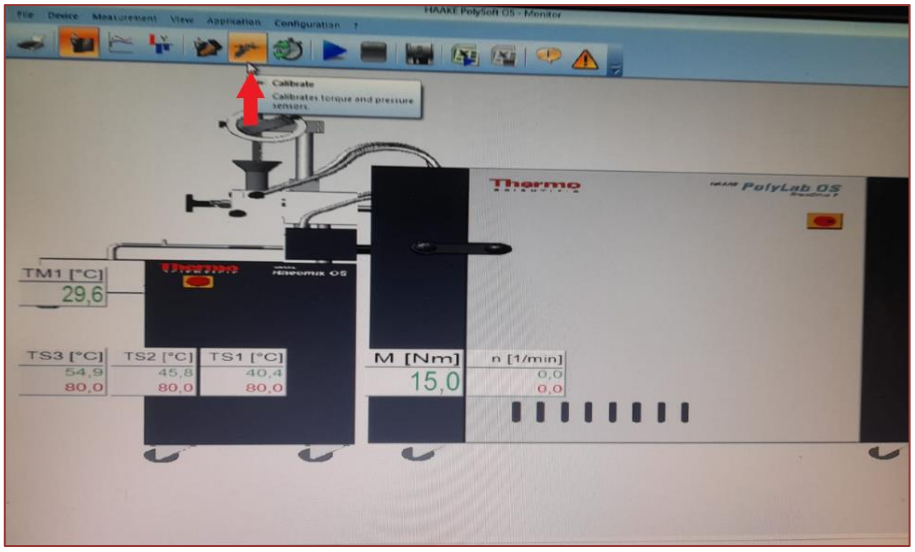


Figura 13. Calibrando o torque

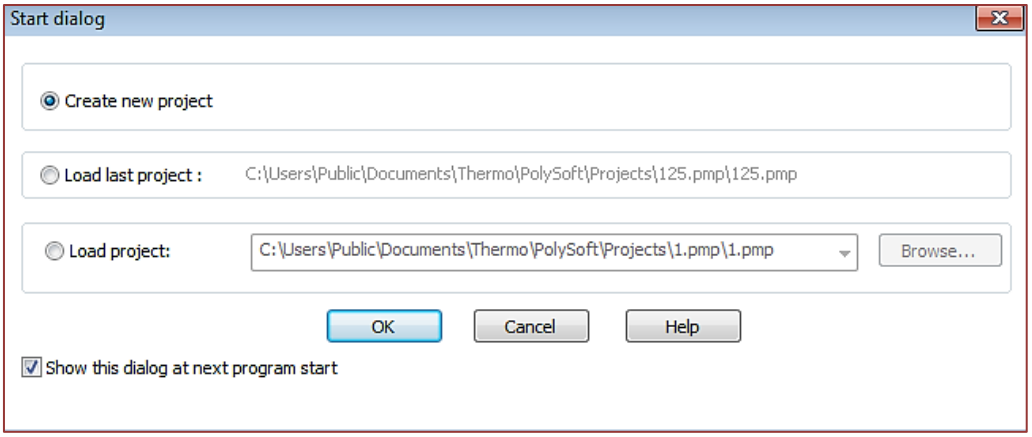


Finalizado a parte do software Polysoft monitor, então deve-se abrir o outro software Polysoft OS, em que deverá ser configurado todo o processo.

Figura 14: Software Polysoft OS

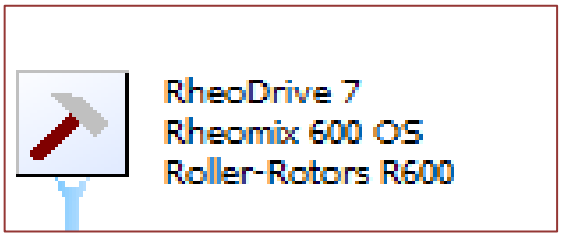
Quando o software for inicializado, a primeira aba trata-se da abertura de um novo projeto (Figura 15), contendo os dados do novo operador. Isso para que seja garantido que o trabalho em questão seja salvo. Para tanto, deverá ser selecionada a aba "create new project" clicando em ok.

Figura 15: Abertura de um novo projeto



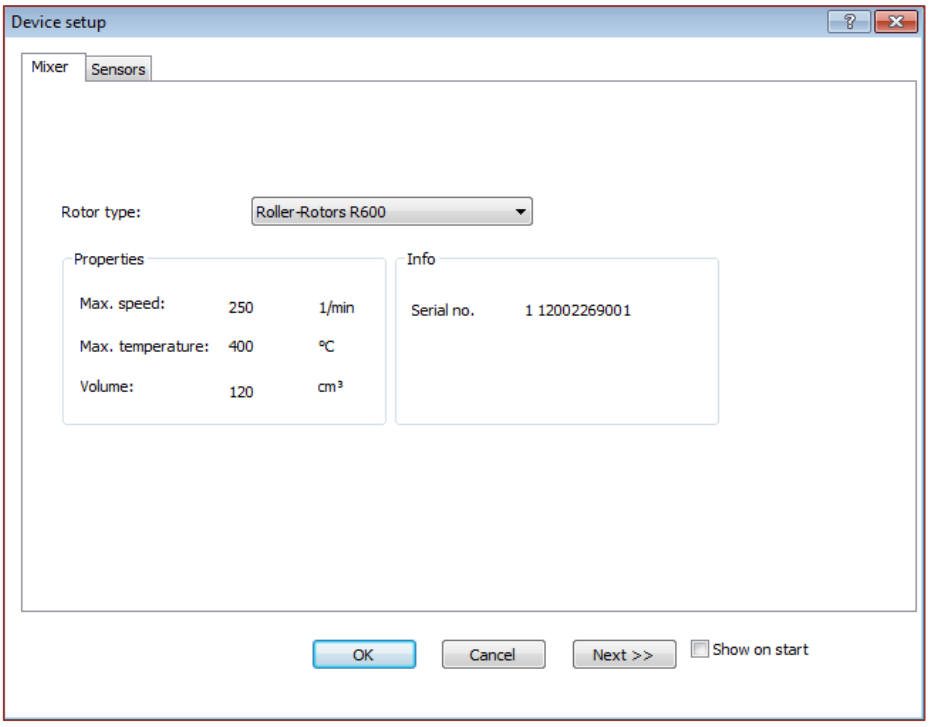
Após os passos concluídos da Figura 15, começa uma nova etapa, onde será necessário configurar o software Polysoft OS para o Haake entrar em funcionamento. Sendo assim, deve-se começar observando o que aparece na tela do computador, isto é, a abertura desse software. A primeira movimentação para o começo do projeto é clicar no ícone onde está escrito RheoDrive 7 Rheomix 600 OS (Figura 16).

Figura 16: Ícone RheoDrive 7



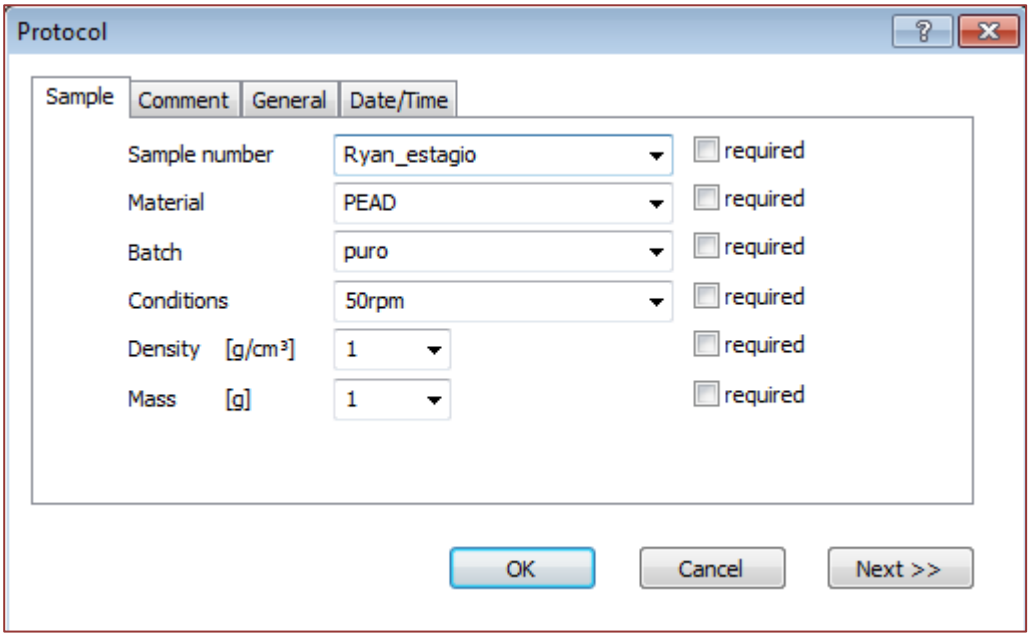
Feito a etapa de informar o título para o novo projeto, chega-se a hora de escolher qual tipo de rotor o usuário deseja para o novo trabalho (Figura 17). Nessa etapa é possível observar o ponto máximo que o equipamento consegue suportar. Com a identificação do tipo de rotor escolhido, é importante ressaltar que o rotor faz parte da câmara de mistura, cujo volume máximo é de 120 cm^3, enquanto o rotor de maior volume é de 51 cm^3 é o tipo "Roller" e o de 35 cm^3 é o do tipo "Cam". Sendo assim, é importante fazer o cálculo da regra da mistura, tendo em vista que o material polimérico será expandido ao receber calor e ocorrerá o aumento do volume total. Portanto, é de suma importância saber qual o material e os rotores a serem utilizados, para que não chegue a ultrapassar o volume total da câmara de mistura (120 cm^3).

Figura 17. Escolha do volume do rotor



Quando o rotor estiver escolhido, deve-se clicar em "next" (Figura 17) para ir para a próxima etapa, em que se abrirá uma nova aba (Figura 18) para o preenchimento de mais algumas informações, sendo elas: "sample number material" (número da amostra), "batch" (lote), "conditions" (condições), "density" (densidade) [g/cm^3] e "mass" (massa) [g]. Se na Figura 19 selecionar os itens "required", significa que as informações se tornam obrigatórias ou se não selecionar as informações não ficam gravadas.

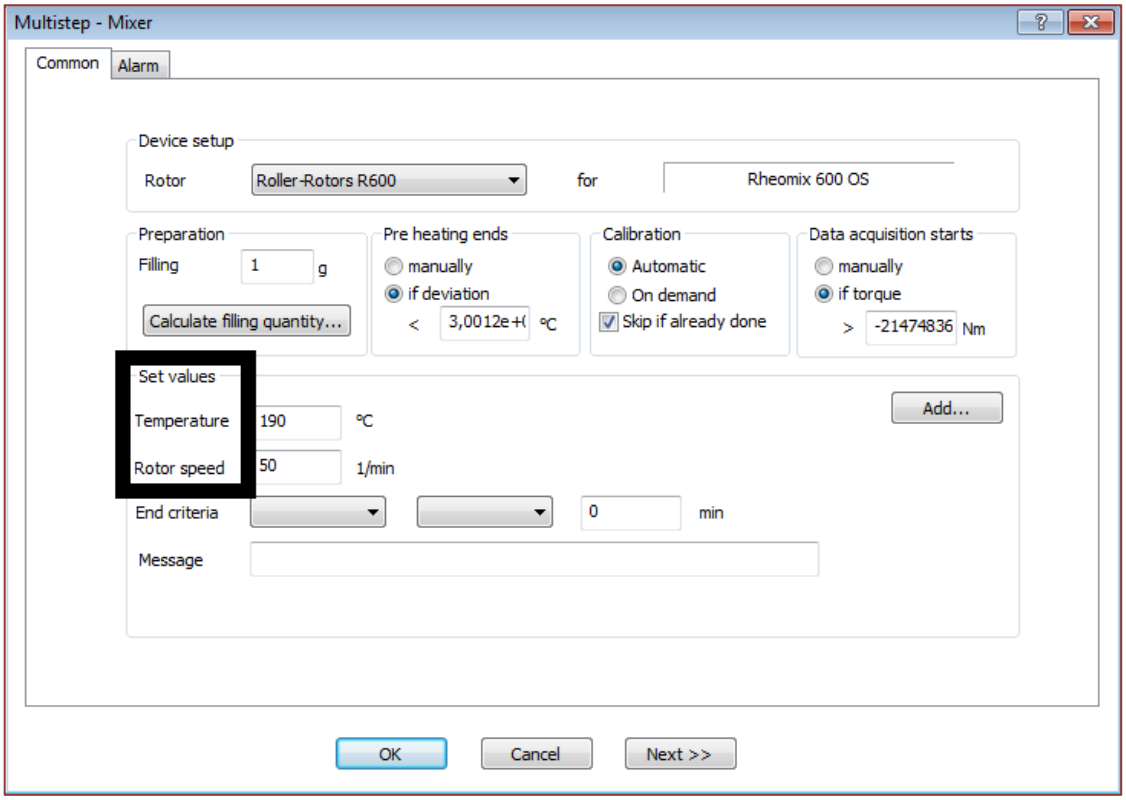
Figura 19: Protocolo de informações a respeito do projeto



Neste ponto, o usuário deve ter cautela, pois, como dito antes, o material polimérico tende a expandir quando fornecido calor, então para o preenchimento do protocolo (Figura 19) deve-se estar atento à informação da massa do material que será depositado no equipamento, que não pode ultrapassar 50g. Desse modo se evita falhas significativas no equipamento. Existem mais três abas, as quais são: comentários a respeito do trabalho, informações gerais e de data/hora, porém não são muito relevantes para a pesquisa, deverá seguir o padrão de fabricação. Feito esse procedimento, deve-se clicar em next.

Uma nova janela será aberta (Figura 20), onde o usuário colocará a informação da margem de variação da temperatura para o começo do experimento, geralmente está em ± 1 °C, a calibração da temperatura seguirá sendo automática e por último o torque deve ser programado para ser registrado no experimento apenas a partir de 0,5 N.m É importante verificar nessa etapa também que, os valores estabelecidos nas outras etapas estão em "set values" (indicado por um quadrado preto na Figura 20), podendo os valores de temperatura e velocidade dos rotores serem modificados, ou ainda a informação do tempo de término da corrida do material, vê em "End criteria". Após a última verificação, deve-se ser selecionado "next" para ir para uma próxima etapa.

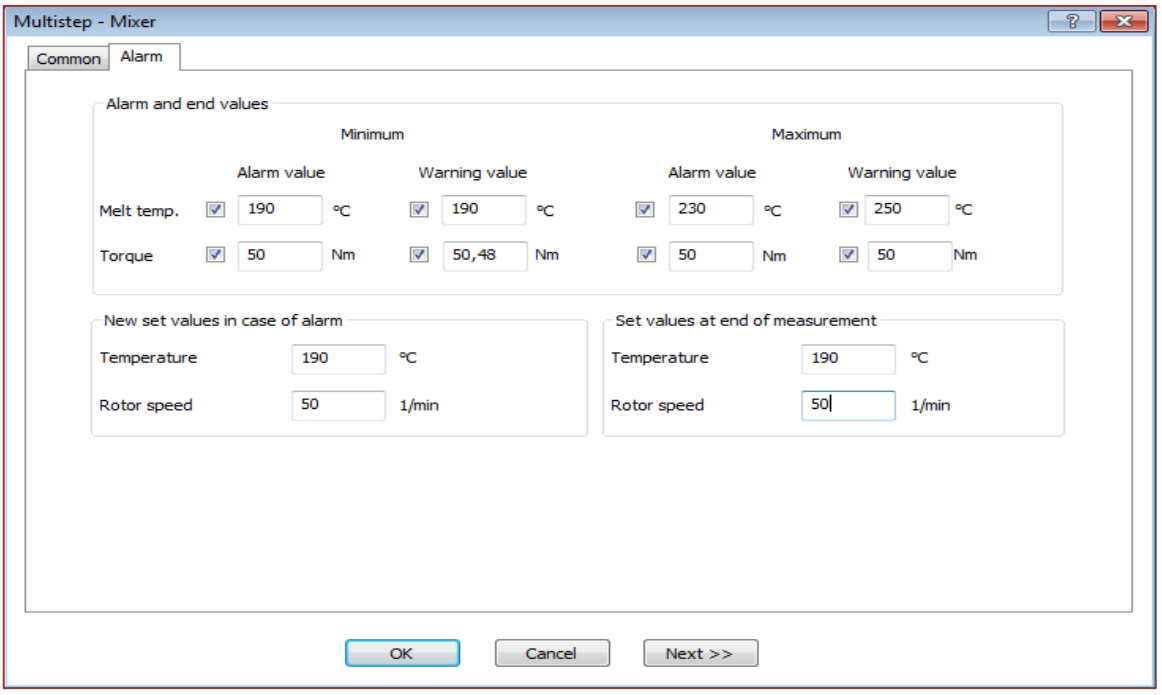
Figura 20. Calibração da temperatura e do torque



Na Figura 21 é apresentado o controle de alarme que é uma etapa deveras importante, visto que serve para frear algum tipo de irregularidade que possa está acontecendo no processo, se alguma falha ou valor for inserido errado, se de algum modo algumas das etapas terem sido calculadas erradas. Primeiro em "minimum" (mínimo), deve ser adicionada a temperatura de fusão ("melt temp") do material em estudo. Se aconselha marcar esse valor de temperatura (caixinha ao lado) para que durante o experimento não se ultrapasse esse valor. No entanto, a próxima caixa de resposta ("warning value") é de

suma importância, sendo obrigatório colocar o valor máximo da temperatura de fusão que o polímero deverá alcançar. Se essa opção for marcada e o polímero ultrapassar o valor que foi adicionado, o computador deverá dar um alerta na sua tela e avisar ao usuário que o valor máximo foi alcançado. O torque deverá ser constante para máximos e mínimos. Já em "maximum" (máximo), os valores são exorbitantes, e são estabelecidos os valores máximos que a máquina suporta, não sendo recomendado fazer o equipamento chegar a esses valores.

Figura 21: Controle de alarme



Após a configuração do experimento conforme elucidado acima, selecionar o ícone em formato de triângulo de nome "Start measurement" (iniciar medição), ou basta clicar na tecla (F8) para que o processo comece de fato, conforme mostra a Figura 22. Após essa etapa se abre uma nova aba chamada de "Job-Control", a qual indica os sensores de temperatura, para assim se confirmar as temperaturas que o usuário deseja trabalhar (Figura 23). Após essa verificação, a máquina está pronta para começar a mistura do material.

Figura 22: Ícone para o início das corridas

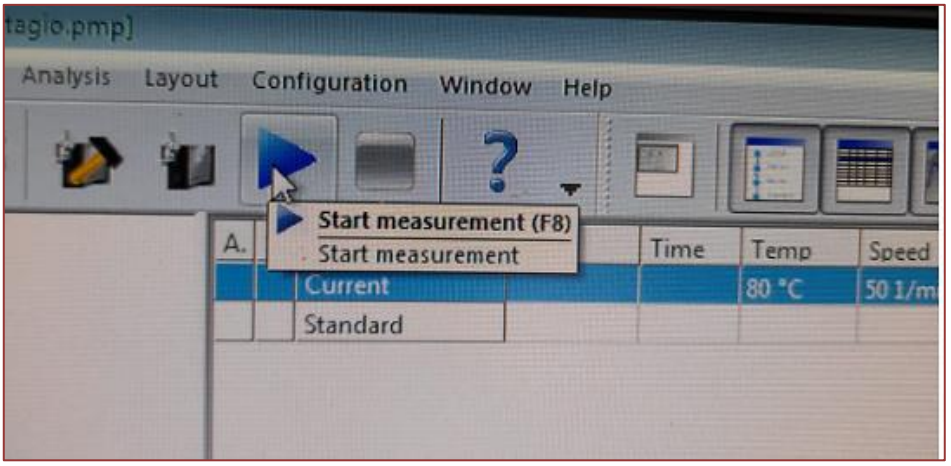
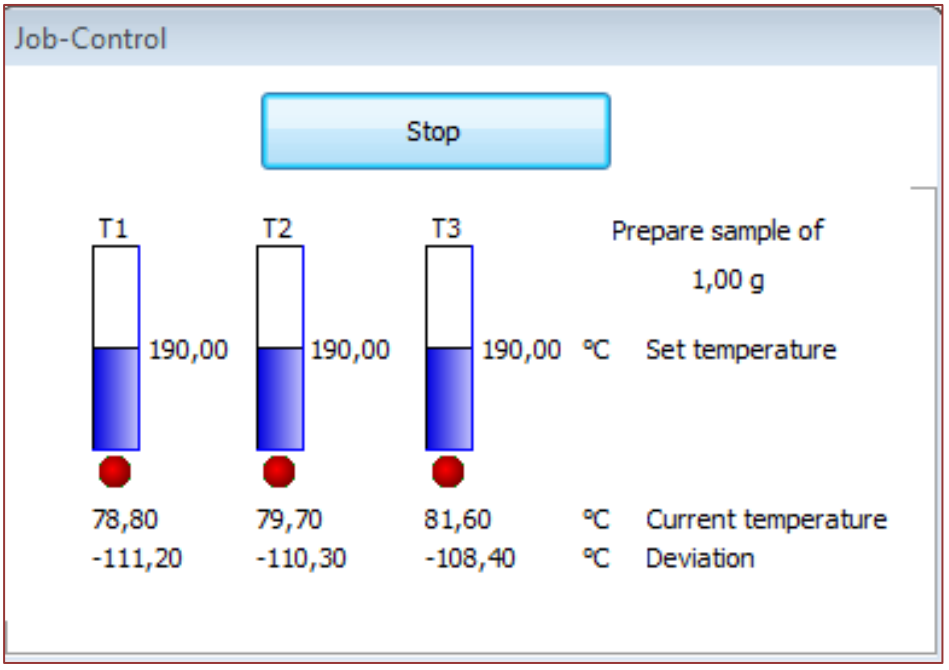
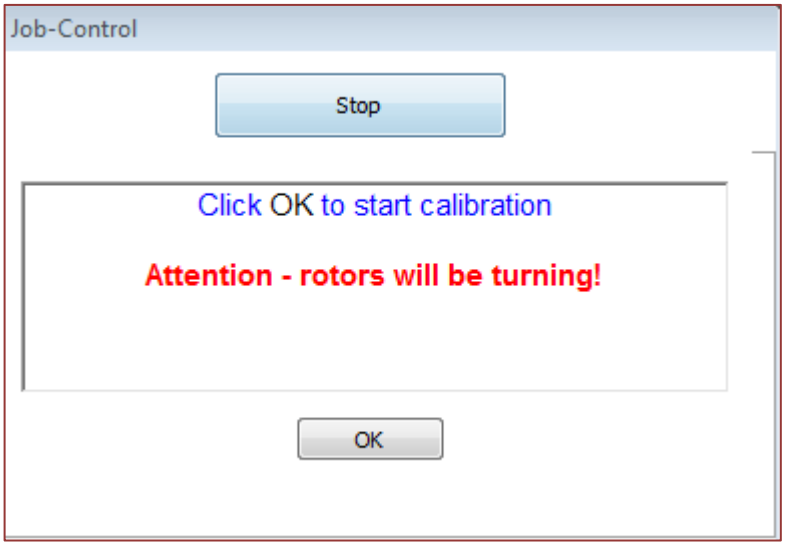


Figura 23: Sensores de confirmação de temperatura



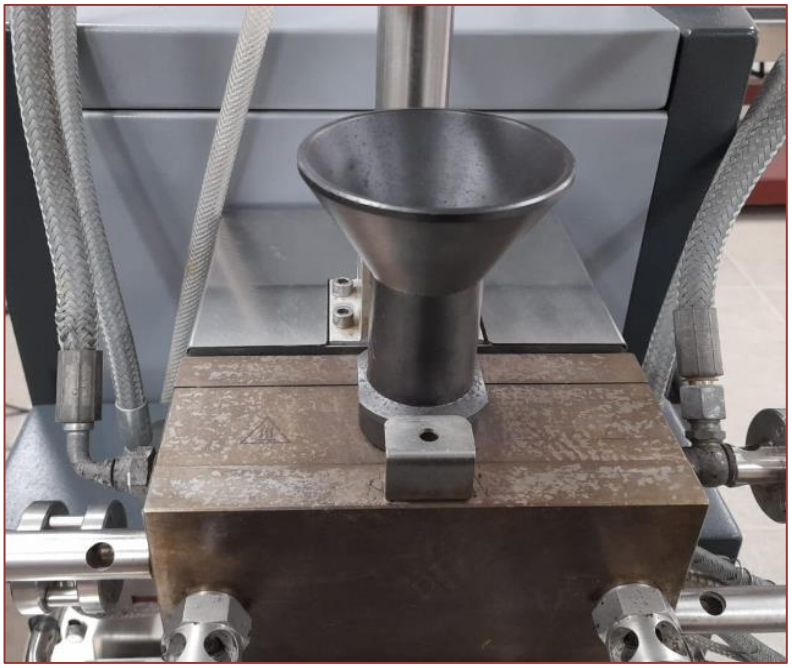
Se o experimento já estiver configurado de acordo com o planejado, uma nova janela se abre com a informação necessária para de fato ocorrer o início da mistura do material polimérico (Figura 24). Basta clicar em ok.

Figura 24: Janela de confirmação



No entanto, para realizar o procedimento acima, o material deve ser colocado no cone de metal (Figura 25), logo após o "ok". Esse cone alimenta o material dentro da câmara de mistura.

Figura 25: Cone de metal por onde se insere o material dentro da câmara

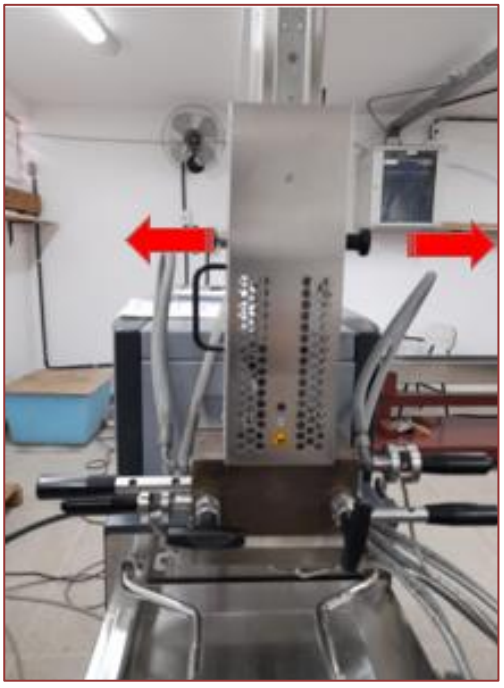


O último item a ser comentado no presente manual é o que dá segurança ao equipamento, constituído por uma chave de proteção, a qual é fixada ao lado esquerdo inferior da placa 1 (Figura 26). Essa chave é mantida inserida no equipamento e tem a função de travamento, só sendo removida quando a placa 1 também for removida.

Figura 26: Chave de proteção

Durante a inserção do material à câmara se faz necessário que um pistão envolto por uma camisa metálica, conforme mostra a Figura 27, seja acionado a descer até abranger toda a região de entrada do cone, permanecendo nessa posição durante todo experimento. A liberação para ocorrer a descida do cilindro pneumático se dar ao puxar, em sentidos contrários, os dois fixadores localizados nas laterais da camisa metálica (indicados pelas duas setas vermelhas na Figura 27) até que o cilindro pneumático se movimente. Esse procedimento impede que mais material seja inserido e/ou se algo ocorrer errado nesse procedimento, também evita que o material seja espalhado em torno do local de trabalho. Sendo assim, se constitui em uma ação protetiva para o operador e demais pessoas que estejam por perto do equipamento.

Figura 27: Camisa metálica protegendo o pistão

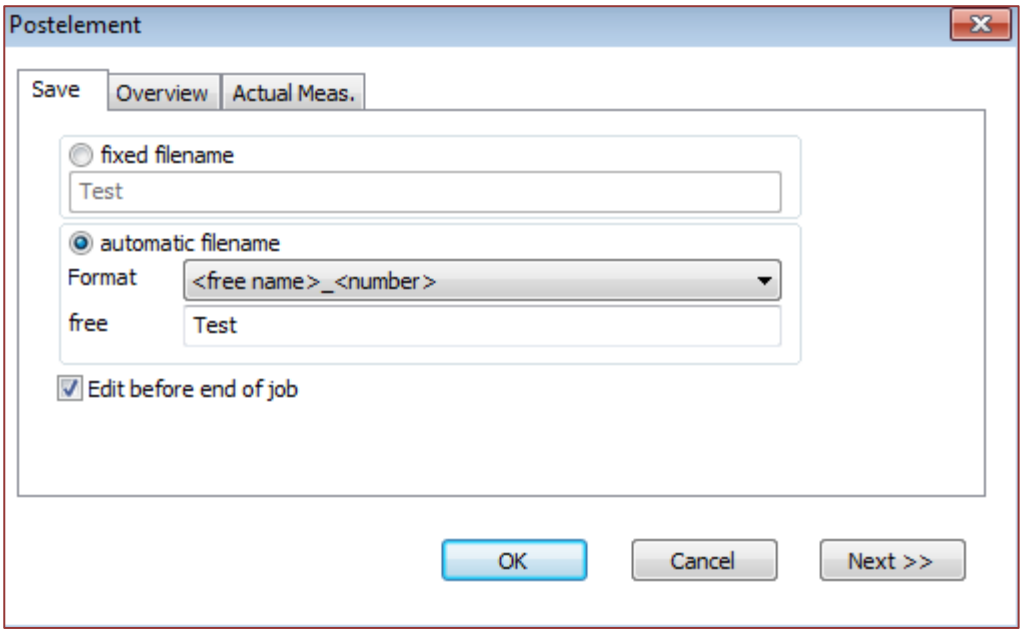


Ao fim do processo de mistura no tempo determinado pelo usuário, o experimento se encerra. Em seguida se realiza a coleta do material, que se inicia ao girar lentamente os rotores, ao apertar as laterais dos dois apoios situados na placa 2 (veja a indicação de um dos apoios por uma seta branca na Figura 6), para causar o descolamento fácil do polímero que estava até então grudado aos rotores.

Após a coleta do material se faz a limpeza do equipamento, que é necessária realizar todas as vezes em que o mesmo for utilizado, para evitar contaminação entre os materiais processados. Na limpeza do equipamento se utiliza os utensílios adequados para não danificar as superfícies das placas, dos rotores e nem da câmara de mistura, sendo eles: escovas com cerdas de bronze e espátula de bronze. Além do uso de equipamentos de proteção individual, tais como: luvas de Kevlar, óculos e máscara, sempre com atenção para evitar queimaduras, uma vez que as placas do equipamento estão quentes.

A finalização de uso do Software Polysoft OS se dar após exportar (armazenar) os dados obtidos no experimento, de modo a poder plotar as curvas em software de planilha Microsoft excel ou outros. Para isso, se escolhe uma pasta no computador e em seguida coloca o nome do experimento (fixed filename), após isso insere o tipo de formato do arquivo a ser exportado (automatic filename), conforme mostrado na Figura 28. Os arquivos são das curvas de torque em função do tempo, de temperatura em função do tempo e de energia em função do tempo, conforme se observa no trabalho de dos Santos, R. F. e Silva, L.B. [2].

Figura 28: Exportação dos dados obtidos



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O referido manual mostra o detalhamento de operações básicas de funcionamento do Reômetro de torque PolyLab OS, de forma ilustrada para o usuário utilizar o equipamento com sucesso. Contêm os desafios para o planejamento da configuração necessária para a execução do experimento, os cuidados operacionais para não danificar o equipamento e

também cuidados pessoais que o usuário deve ter durante a execução do procedimento experimental. Portanto, se evidencia a colaboração deste manual básico para aqueles que venham desenvolver pesquisas seja no âmbito da graduação de Engenharia de Materiais ou da Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. O reômetro de torque detém potencial inovador para o desenvolvimento de pesquisas com pequenas quantidades de material. Quando o usuário não dispõe do conhecimento básico adequado do funcionamento desse equipamento poderá invalidar a sua utilização, isto porque os custos são elevados para a sua manutenção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ pelas bolsas de estudo de iniciação científica do autor dos Santos, R. F., a Alana Mendonça de Farias pelo apoio técnico na realização desse trabalho. Também agradecemos ao Prof. Dr. Eliton Souto de Medeiros por coordenar o projeto de aquisição do reometro de torque juntamente com o Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais por meio de recursos da PROPESQ/UFPB.

REFERÊNCIAS

[1] Instruction Manual Software PolySoft OS, "The original instruction manual", version 1.0, ThermoFisher Scientific, Germany, Order no. 005-1165, December, 2006.

[2] Santos, R. F. dos; SILVA, L. B. da. Effect of rotation of torque rheometer rotors on HDPE/UHMWPE blend mixture.Seven Editora, [S. l.], 2023. Disponível em: https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/985. Acesso em: 6 jun. 2023.

[3] Xu, K., Zheng, Z., Chen, T., Li, K., and Zhong, T. Study on the torque rheological behavior of wood flour/chitosan/polyvinyl chloride composites. BioRes. V.10(2), p. 2549-2559, 2015. DOI:10.15376/biores.10.2.2549-2559

[4] Ari, G.A. and Aydin, I. Rheological and fusion behaviors of PVC micro- and nano-composites evaluated from torque rheometer data. J Vinyl Addit Technol. p. 223-228, 2010, https://doi.org/10.1002/vnl.20241

[5] Chun KS, Husseinsyah S, Yeng CM. Torque rheological properties of polypropylene/cocoa pod husk composites. Journal of Thermoplastic Composite Materials., v. 30(9): p. 1217-1227, 2017. doi:10.1177/0892705715618743

[6] Estevão Freire, Otavio Bianchi, Elisabeth E.C. Monteiro, Regina Célia Reis Nunes, Madalena C. Forte, Processability of PVDF/PMMA blends studied by torque rheometry, Materials Science and Engineering C, V. 29, n.2, p. 657-661, 2009. doi.org/10.1016/j.msec.2008.12.025

[7] Ge, H., Yang, F., Hao, Y., Wu, G., Zhang, H. and Dong, L. Thermal, mechanical, and rheological properties of plasticized poly(L-lactic acid). doi.org/10.1002/app.37620 J. Appl. Polym. Sci., 127: p. 2832-2839, 2013.

[8] Abdoos, H., Khorsand, H. & Yousefi, A.A. Torque rheometry and rheological analysis of powder–polymer mixture for aluminum powder injection molding.Iran Polym J. V.23., p . 745–755, 2014. https://doi.org/10.1007/s13726-014-0268-1

[9] Zhang, D.-W., Li, Y.-J., Feng, Y.-H., Qu, J.-P., He, H.-Z. and Xu, B.-P. Effect of initial fiber length on the rheological properties of sisal fiber/polylactic acid composites. Polym Compos, V.32, p. 1218-1224, 2011. https://doi.org/10.1002/pc.21141

[10] Andrade, R. M.; S JR, S. M.; Coutinho, S. V. C. R.; Jaques, N. G.; Pina, H. V.; Rodrigues, B. G.; Fook, M. V. L.; Fernandes, P. R.; Ries, A.; Wellen, R. M. R. PCL/ZnO Bio-friendly Films as Food Packaging Material. Thermal and morphological analysis. Materia-Rio de Janeiro, v. 23 (4), p. 1, 2018. 10.1590/s1517-707620180004.0589

[11] Dos Santos Silva, Ingridy Dayane; Guimarães Jaques, Nichollas; Da Cruz Barbosa Neto, Manoel; Agrawal, PAnkaj; Ries, Andreas; Ramos Wellen, Renate Maria; Canedo, Eduardo Luis. Melting and crystallization of PHB/ZnO compounds. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry (Online), v. 132, p. 571-580, 2018.

[12] Gois, G. S., Andrade, M. F., Garcia, S. M. S., Vinhas, G. M., Santos, A. S. F., Medeiros, E. S., Oliveira, J. E., Almeida, Y. M. B. Soil Biodegradation of PLA/CNW Nanocomposites Modified with Ethylene Oxide Derivatives. Materials Research, v. 20, p. 899-904, 2017.

[13] Gois, G. S.; Nepomuceno, N. C.; Franca, C. H. A. ; ALmeida, Y. M. B.; Hernandez, E. P.; Oliveira, J. E. ; Oliveira, M. P.; Medeiros, E. S.; Santos, A. S. F. Influence of morphology and dispersion stability of cnc modified with ethylene oxide derivatives on mechanical properties of PLA based nanocomposites. Polymer Composites, v. 40, p. E399-E408, 2018.

[14] Guimarães Jaques, Nichollas; Dos Santos Silva, Ingridy Dayane; Ries, Andreas; Canedo, Eduardo Luis; Ramos Wellen, Renate Maria. Nonisothermal crystallization studies of PBT/ZnO compounds. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry (Online), v. 131, p. 2569-2577, 2018.

[15] Jaques, N. G.; Silva, I. D. S.; Barbosa Neto, M. C.; Ries, A.; Eduardo L. Canedo; Wellen, R. M. R. Effect of heat cycling on melting and crystallization of PHB/TiO2 compounds. Polimeros-Ciencia e Tecnologia, v. 28, p. 1, 2018.

[16] Jaques, Nichollas Guimarães; Silva, Ingridy Dayane dos Santos; Barbosa Neto, Manoel da Cruz; Diniz, Rayane Karoline Melo; Wellen, Renate Maria Ramos; Canedo, Eduardo Luis. Comparative study of the effect of TiO2 and ZnO on the crystallization of PHB. Materia-Rio de Janeiro, v. 22, artigoe-11880, 2017. 10.1590/S1517-707620170004.0214.

[17] Coutinho, S. V.; Diniz, R. K.; Almeida, A. N. F.; Lima, M. E. A.; Fim, Fabiana C. Evaluation of the Mechanical and Thermal Properties of Blended (HDPE/UHMWPE) Nanocomposites with Graphite Nanosheets (GNS). Macromolecular Symposia (online), v. 383, p. 1800017-1800025, 2019

[18] Júnior, C.Z.P., Mendonca, A.V., Fim, F.C.et al. Recycling EVA Waste: An Opportunity for the Footwear Industry-Rheological Properties of EVA Waste Composites Using Torque Rheometry. Journal of Polymers and the Environment, V.30., p. 2155–2164, 2022, https://doi.org/10.1007/s10924-021-02332-x

[19] Melo, P. M. A.; Macêdo, O. B.; Barbosa, G. P.; Santos, A. S. F.; Silva, L. B. Reuse of Natural Waste to Improve the Thermal Stability, Stiffness, and Toughness of Postconsumer Polypropylene Composites. Journal of Polymers and the Environment, v. 29, p. 538-551, 2021.

[20] Nunes, M. A. B. S.; Faria, A. N. F.; Medeiros, E. S.; Oliveira, J. E.; Santos, I. M. G.; Carvalho, L. H.; Santos, A. S. F. The effect of clay organophilization on wood plastic composite (WPC) based on recycled high density polyethylene (HDPE) and coir fiber. Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology , v. 37, p. 1-18, 2021.

[21] Ries, Andreas; Canedo, Eduardo L.; Souto, Cícero R.; Wellen, Renate M.R. Non-isothermal cold crystallization kinetics of poly(3-hydoxybutyrate) filled with zinc oxide. Thermochimica Acta, v. 637, p. 74-81, 2016.

[22] Santos, Eduardo Braga Costa; Barros, Janetty Jany Pereira; Moura, Danusa Araújo; Moreno, Camila Gomes; Fim, Fabiana de Carvalho; Silva, Lucineide Balbino da. Rheological and thermal behavior of PHB/piassava fiber residue-based green composites modified with warm water. Journal of Materials Research and Technology, v. 8, p. 531-540, 2019.

[23] Silva, N. F. I. ; Soares Filho, J. E. ; Santos, T. G. C. ; Chagas, J. S. ; Silva, S. A. L. ; Santos, E. B. C. ; Wellen, R. M. R. ; Silva, L. B. ; Carvalho, L. H. ; Nunes, M. A. B. S. ; Santos, A. S. F. . Biocomposites based on poly(hydroxybutyrate) and the mesocarp of babassu coconut (Orbignya phalerata Mart.): Effect of extractives and maleic anhydride modified polyethylene. Journal of Materials Research and Technology, v.15, p. 3161-3170, 2021.

Capítulo 10

Reflexões: Transmídia nas Geociências

Ademilson Carlos Teixeira
Alfredo Borges de Campos

Resumo: A abordagem transmídia tem se mostrado uma estratégia relevante para disseminar o conhecimento científico nas Geociências, facilitando descobertas mais acessíveis, compreensíveis e interessantes para o público em geral. Neste artigo, realizamos uma reflexão literária que analisou as mais recentes aplicações da abordagem transmídia, destacando seu potencial como uma ferramenta fundamental para aprimorar a compreensão dos desafios e oportunidades nas Geociências, além de promover maior conscientização e engajamento da sociedade.

Autores como Carlos Alberto Scolari, Robert Pratten, Pierre Levy e Manuel Castells contribuíram para essa reflexão, oferecendo perspectivas distintas que ampliaram nosso conhecimento sobre as possibilidades e benefícios da abordagem transmídia nas Geociências. Suas contribuições destacaram a importância da cooperação entre diferentes mídias, da adoção de uma abordagem centrada no público, da interconectividade digital e do papel das mídias digitais na divulgação científica nas Geociências.

A reflexão também identificou lacunas na literatura existente, incluindo a falta de estudos empíricos que avaliem a eficácia das estratégias transmídia, a necessidade de abordagens integradas, a análise das implicações éticas e sociais, a promoção da colaboração interdisciplinar e a exploração de novas plataformas e tecnologias emergentes. Essas lacunas indicaram direções futuras de pesquisa, buscando investigar a eficácia das estratégias transmídia na divulgação das Geociências, tanto em termos de engajamento do público quanto de impacto na compreensão dos temas.

Concluímos que a reflexão enfatizou a importância da abordagem transmídia como uma ferramenta essencial para difundir informações complexas e multidisciplinares nas Geociências. As análises dos autores proporcionaram contribuições fundamentais para a compreensão e o aprimoramento da aplicação da abordagem transmídia, destacando a importância de uma comunicação eficaz e envolvente para alcançar o público e promover uma maior valorização da ciência Geocientífica. Essas reflexões apontam a relevância da transmídia como uma estratégia eficaz para envolver o público e promover uma compreensão ampla e acessível dos tópicos Geocientíficos.

Palavra chave: Divulgação Científica, Transmídia, Geociências.

1. INTRODUÇÃO

A comunicação científica é fundamental para o avanço e desenvolvimento de qualquer área do conhecimento (VAN DIJK, 2017). A disseminação clara e acessível de informações científicas, sem comprometer a integridade da pesquisa, é um desafio contínuo e essencial para garantir que a sociedade possa aproveitar os avanços científicos e tecnológicos (KOUADIO et al., 2021). Nesse contexto, a transmídia surge como uma abordagem inovadora e promissora para a divulgação científica, permitindo que informações complexas de pesquisas científicas possam ser transmitidas de forma envolvente e interativa (JENKINS, 2006).

O conceito de transmídia tem origem na indústria do entretenimento, onde foi criado como uma estratégia para expandir a narrativa de histórias através de diferentes plataformas midiáticas, como livros, filmes, jogos, entre outros (JENKINS, 2007). No entanto, nos últimos anos, a transmídia tem sido amplamente adotada em outras áreas, incluindo a divulgação científica, onde tem sido utilizada para disseminar informações complexas e multidisciplinares (DOMINGUES, 2015).

Experimentos transmidiáticos em pesquisa científica têm se mostrado uma abordagem inovadora e promissora para explorar e comunicar descobertas científicas de maneira mais envolvente e acessível. Esses experimentos combinam diferentes mídias e plataformas, permitindo a criação de narrativas complexas e interativas que transcendem os limites dos meios tradicionais.

Henry Jenkins, pesquisador da abordagem transmídia, destaca a importância dos experimentos transmidiáticos na pesquisa científica. Em seu livro "Convergence Culture: Where Old and New Media Collide" (2006), ele enfatiza como a colaboração entre cientistas e criadores de mídia podem resultar em experiências transmidiáticas que transformam a ciência atrativa e compreensível para o público em geral. Outro autor influente nesse campo é Carlos Alberto Scolari, no seu livro “Narrativo Transmedia: Cuando todos los medios cuentan" (2013) explora exemplos de experimentos transmidiáticos em diferentes áreas, incluindo a pesquisa científica. Ele discute como a combinação de diferentes mídias, como vídeos, jogos, websites e redes sociais, pode ampliar o alcance da pesquisa e estimular a participação ativa do público.

A importância de transmitir informações científicas de maneira clara e acessível é destacada por alguns autores, pois isso permite que a sociedade compreenda e se beneficie dos avanços científicos e tecnológicos. No entanto, essa tarefa nem sempre é fácil, pois muitas pesquisas são altamente especializadas e podem ser de difícil compreensão para pessoas não familiarizadas com a área.

Para enfrentar esse desafio, a abordagem transmídia e a narrativa transmídia têm se mostrado ferramentas essenciais. Ao utilizar diferentes mídias e plataformas, como vídeos, infográficos, animações, mídias sociais e aplicativos interativos, é possível apresentar conceitos científicos complexos de maneira mais acessível e envolvente para o público.

> "A disseminação eficaz da ciência requer a capacidade de traduzir a linguagem técnica e complexa dos pesquisadores em narrativas compreensíveis e envolventes para o público em geral" (Vicente Gosciola, 2017).

Conforme afirmado por Henry Jenkins, "a narrativa transmídia pode fornecer múltiplas portas de entrada para a compreensão de um tópico, permitindo que diferentes pessoas acessem e explorem a informação de acordo com seus próprios interesses e níveis de conhecimento" (Jenkins, 2006). Essa abordagem permite uma maior interação do público com a ciência, proporcionando uma experiência mais imersiva e participativa.

Ao utilizar a transmídia na pesquisa científica, é possível ampliar o alcance e o impacto das descobertas, envolvendo o público de maneira mais significativa. Essa abordagem ajuda a superar as barreiras de comunicação entre cientistas e a sociedade, promovendo a divulgação científica de forma mais efetiva e estimulando o engajamento do público.

A transmídia permite que o conhecimento científico seja apresentado de maneira contextualizada e relacionada a situações da vida cotidiana, o que facilita a compreensão e a relevância da pesquisa para as pessoas. Isso promove uma maior conscientização sobre questões científicas e contribui para a formação de uma sociedade mais informada e participativa.

No entanto, reconhecemos a importância de aprofundar nossa compreensão sobre o tema e, para isso, realizamos uma revisão literária. Nosso objetivo é fornecer reflexões atualizadas sobre a abordagem transmídia nas Geociências, além de identificar lacunas e tendências na literatura existente. Acreditamos que a utilização da transmídia nesse contexto possa ser uma ferramenta fundamental, permitindo que a sociedade compreenda melhor os desafios e oportunidades enfrentados nas pesquisas em Geociências.

Ao integrar diferentes mídias e plataformas, a transmídia possibilita a criação de narrativas envolventes e interativas, que vão além das fronteiras disciplinares e alcançam diferentes públicos, incluindo aqueles que não possuem conhecimento especializado nas Geociências.

Neste estudo, apresentamos as contribuições dos autores, Carlos Alberto Scolari, Robert Pratten, Pierre Levy e Manuel Castells, juntamente com outros estudiosos relevantes e realizamos uma análise dos principais pontos sobre a abordagem da transmídia nas Geociências, as lacunas e tendências na literatura existente, além disso, apresentamos como exemplo o projeto Living Norway, que desempenhou um papel fundamental na comunicação científica explorando a ferramenta transmídia e a narrativa transmidiática por meio de visualizações interativas, jogos e outras mídias.

2. TRANSMÍDIA NAS GEOCIÊNCIAS

As Geociências desempenham um papel fundamental na sociedade, fornecendo conhecimentos essenciais para compreender e enfrentar com os desafios do nosso planeta. De acordo com a pesquisa de Fidalgo et al. (2021), "o estudo das Geociências é essencial para a compreensão dos processos naturais que moldam a Terra, como a formação de terremotos, a ocorrência de fenômenos climáticos extremos e a evolução dos ecossistemas".

A contribuição das Geociências vai além do entendimento dos fenômenos naturais. Conforme destacado por Domingues (2015), "essas disciplinas também desempenham um papel importante na prevenção e mitigação de desastres naturais, fornecendo informações importantes para o planejamento urbano, a gestão de recursos hídricos e a tomada de decisões relacionadas à segurança e sustentabilidade".

Além disso, as Geociências desempenham um papel importante na exploração e gestão dos recursos naturais. Como apontado por Van Dijk (2017), "o conhecimento Geocientífico é essencial para a identificação e avaliação de recursos minerais, energéticos e hídricos, bem como para a adoção de práticas sustentáveis de extração e preservação desses recursos".

Portanto, as Geociências desempenham um papel multifacetado na sociedade, contribuindo para a compreensão do funcionamento da Terra, a prevenção de desastres naturais e a gestão responsável dos recursos naturais.

A utilização da abordagem transmídia na pesquisa científica em Geociências se faz importante para disseminar esse conhecimento de forma clara, acessível e envolvente. Essa estratégia permite que as descobertas científicas sejam compreendidas e apreciadas pelo público em geral, contribuindo para uma maior valorização da ciência e seus benefícios para a sociedade.

> Nas Geociências, a transmídia tem um papel importante a desempenhar, uma vez que essa área do conhecimento trata de processos e fenômenos complexos, muitas vezes difíceis de serem compreendidos pela sociedade em geral (FIDALGO et al., 2021). A utilização da transmídia nas Geociências permite a criação de narrativas envolventes e interativas, que podem ajudar a disseminar informações Geocientíficas de forma acessível e compreensível (FILHO et al., 2019).

Embora a transmídia tenha sido amplamente explorada em áreas como entretenimento, publicidade e educação, sua aplicação nas Geociências ainda está em um estágio inicial, com muitas lacunas e oportunidades a serem exploradas. Apesar do potencial da transmídia nas Geociências, ainda existem desafios a serem superados. Um dos principais desafios é a falta de investimento e recursos para a produção de conteúdo transmídia de alta qualidade (FILHO et al., 2019). Além disso, a criação de narrativas transmídia efetivas requer uma compreensão profunda dos processos Geocientíficos e das necessidades da audiência (KOUADIO et al., 2021).

Outro desafio importante na literatura existente sobre transmídia em Geociências é a escassez de estudos empíricos que investiguem a eficácia e o impacto dessa abordagem na divulgação científica e na compreensão pública dos temas Geocientíficos. A maioria dos estudos disponíveis até o momento tem se concentrado principalmente em teorias e modelos conceituais, deixando uma lacuna significativa na compreensão dos resultados práticos e da efetividade das estratégias transmidiáticas aplicadas a esse campo específico.

Conforme ressaltado por Jenkins (2013) em seu trabalho "Transmedia Storytelling and Entertainment: An annotated syllabus", a pesquisa empírica desempenha um papel fundamental na avaliação do impacto da transmídia no engajamento do público e na disseminação do conhecimento científico. A falta de estudos empíricos que explorem os efeitos e resultados concretos da abordagem transmídia nas Geociências é uma limitação que precisa ser abordada para avançar.

A realização de pesquisas empíricas permitiria avaliar a eficácia das estratégias transmidiáticas específicas utilizadas na divulgação científica das Geociências, bem como seu impacto no aumento do conhecimento, na compreensão e no engajamento do público.

Isso poderia ser alcançado por meio de estudos de caso, análises de audiência, pesquisas de opinião e outras metodologias que possibilitem uma compreensão mais aprofundada dos efeitos da transmídia nesse contexto.

Além disso, a pesquisa empírica também poderia contribuir para identificar as melhores práticas e diretrizes para a aplicação da abordagem transmídia nas Geociências. Isso incluiria a análise de diferentes estratégias transmidiáticas, o uso adequado das plataformas e mídias digitais disponíveis, bem como a compreensão das preferências e características do público-alvo.

Portanto, é evidente que a pesquisa empírica desempenha um papel importante no avanço do conhecimento sobre o uso da abordagem transmídia nas Geociências. Ao preencher essa lacuna de estudos empíricos, será possível obter dados relevantes sobre a eficácia, o impacto e as melhores práticas dessa abordagem, permitindo uma divulgação científica mais efetiva e envolvente nessa área. A diversidade do público-alvo nas Geociências também é uma questão que requer mais atenção na literatura existente. É necessário considerar a adaptação das narrativas transmidiáticas de acordo com as características, preferências e níveis de conhecimento do público. Como destaca Candy (2006) em "Practice-based research in the creative arts: Foundations and futures", é fundamental envolver o público-alvo no processo de criação e implementação das estratégias transmidiáticas, a fim de garantir a relevância e o impacto desejado.

No entanto, apesar das lacunas mencionadas, existem algumas tendências promissoras que podem ser observadas na literatura existente sobre transmídia em Geociências. Uma delas são a crescente colaboração entre cientistas, comunicadores científicos, artistas e o público em geral na criação de narrativas transmidiáticas Geocientíficas. A integração de diferentes perspectivas e expertise pode resultar em narrativas mais interessantes e envolventes, que conectam de maneira efetiva a ciência com a sociedade.

Outra tendência é a utilização de tecnologias emergentes, como realidade virtual e aumentada, para criar experiências imersivas e interativas relacionadas às Geociências. As tecnologias emergentes, como realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA), apresentam um enorme potencial para a transmídia nas Geociências. Essas tecnologias permitem a criação de ambientes virtuais ou a sobreposição de informações digitais no mundo real, oferecendo uma experiência imersiva e interativa para o público. Autores como Caquard (2013) em "Cartography III: Mapping Narrative cartography as a method in geography" destacam o uso da RV e RA como ferramentas para comunicar informações geográficas complexas e envolver o público de forma mais profunda.

Outra tendência na literatura existente é a exploração da participação ativa do público na criação e disseminação de conteúdo transmidiático Geocientíficos. Através de plataformas colaborativas, como mídias sociais e comunidades online, os indivíduos são incentivados a contribuir com ideias, experiências e conhecimentos, tornando-se co-criadores das narrativas transmidiática.

> Autores como Jenkins (2006) em "Convergence Culture: Where Old and New Media Collide" ressaltam a importância da participação do público na construção de narrativas transmidiáticas, possibilitando uma maior diversidade de perspectivas e uma maior conexão emocional com os temas abordados.

A personalização e a adaptação das narrativas transmidiática Geocientíficas de acordo com as preferências individuais do público são tendências que estão emergindo. Com o avanço das tecnologias de coleta de dados e análise de informações, é possível criar experiências personalizadas que atendam às necessidades e interesses específicos de cada indivíduo.

> Autores como Murray (2012) em "Inventing the Medium: Principles of Interaction Design as a Cultural Practice" enfatizam a importância de oferecer opções de personalização para o público, permitindo que eles se envolvam de maneira mais significativa com as narrativas transmidiáticas.

Em 2017, um exemplo de projeto que buscou envolver o público foi o Projeto Living Norway, realizado na Noruega. Foi uma iniciativa bem-sucedida que utilizou a abordagem transmídia e as narrativas transmidiática para aumentar o interesse e o engajamento do público em tópicos relacionados às Geociências. De acordo com Bryant et al. (2016), o projeto foi desenvolvido com o objetivo de proporcionar uma experiência interativa e envolvente para o público, permitindo que eles explorassem e aprendessem sobre a biodiversidade e a geologia da Noruega de maneiras novas e emocionantes.

O projeto foi uma colaboração entre várias instituições na Noruega, incluindo o Centro Norueguês de Biodiversidade, a Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia, o Instituto Norueguês de Pesquisa em Água Doce e o Museu de História Natural da Noruega. Ele foi composto por um conjunto de bases de dados e ferramentas online, que permitissem aos participantes acessar informações detalhadas sobre espécies animais e vegetais, ecossistemas e paisagens em que vivem.

A abordagem transmídia e as narrativas transmidiática adotada no projeto permitiram que o conteúdo fosse disponibilizado em diferentes plataformas e formatos, atingindo um público mais amplo. O aplicativo móvel do projeto, por exemplo, permitiu que os participantes explorassem as áreas de biodiversidade e geologia da Noruega de forma interativa e envolvente, utilizando recursos como mapas, fotos e informações detalhadas sobre as diferentes espécies e formações geológicas. Além disso, o projeto também incorporou vídeos e fotografias que foram compartilhados nas redes sociais, permitindo que o público interagisse com o projeto e compartilhasse suas próprias experiências e descobertas.

> De acordo com Bryant et al. (2016), “a abordagem transmídia adotada no projeto foi fundamental para o sucesso do projeto, uma vez que permitiu a criação de uma experiência mais envolvente e interativa do que seria possível com um único meio de comunicação”.

Essa abordagem tornou a ciência mais acessível e interessante para o público em geral, ajudando a aumentar a conscientização sobre questões importantes relacionadas ao meio ambiente e à conservação.

O projeto "Living Norway" (2017) representou um exemplo inspirador de como a abordagem transmídia e as narrativas transmidiáticas poderiam ser aplicadas nas Geociências, promovendo uma maior acessibilidade, engajamento e interesse do público

em geral. Ao utilizar diferentes mídias e plataformas, o projeto conseguiu criar uma experiência interativa e envolvente, ampliando o conhecimento e o interesse do público em temas relacionados às Geociências.

No entanto, apesar dos avanços nesse campo, a literatura existente sobre transmídia nas Geociências ainda apresenta lacunas significativas que precisam ser abordadas. Uma das principais lacunas é a falta de estudos empíricos que investiguem a eficácia e o impacto dessa abordagem na divulgação científica e na compreensão pública dos temas Geocientíficos. Muitos estudos disponíveis se concentram em teorias e modelos conceituais, deixando uma lacuna na compreensão dos resultados práticos e da efetividade das estratégias transmidiáticas.

Além disso, é essencial desenvolver diretrizes claras para a aplicação da abordagem transmídia nas Geociências, levando em consideração as particularidades do público-alvo e adaptando as estratégias transmidiáticas de acordo com suas necessidades e expectativas. A colaboração entre diferentes atores, como cientistas, comunicadores e criadores de mídia, é fundamental para o aprimoramento dessa abordagem, permitindo a combinação de conhecimento científico e expertise em comunicação.

Também é importante explorar as tendências promissoras que estão surgindo nesse campo. O uso de tecnologias emergentes, como realidade virtual e aumentada, oferecendo novas oportunidades para a criação de experiências imersivas e envolventes, aproximando o público nas Geociências. Além disso, incentivar a participação ativa do público, por meio de jogos interativos, crowdsourcing (*é um modelo de colaboração e produção coletiva que envolve a obtenção de ideias, informações, recursos e serviços de um grande número de pessoas, geralmente por meio da internet.*) e outras formas de engajamento, que pode aumentar o impacto e a eficácia das estratégias transmidiáticas nas Geociências.

À medida que avançamos nesse campo, é fundamental continuar a explorar e aprimorar as práticas transmidiáticas nas Geociências. Isso implica preencher as lacunas existentes na literatura por meio da realização de estudos empíricos que avaliem o impacto da transmídia no engajamento do público e na disseminação do conhecimento científico. Também é importante desenvolver diretrizes e melhores práticas para orientar a aplicação da abordagem transmídia nas Geociências, garantindo a efetividade e a relevância dessas estratégias na divulgação científica.

O projeto "Living Norway" demonstrou o potencial da abordagem transmídia para tornar a ciência nas Geociências mais acessível, envolvente e interessante para o público. No entanto, é necessário continuar avançando nesse campo, abordando as lacunas existentes na literatura e aproveitando as oportunidades emergentes, a fim de promover uma divulgação científica mais eficaz e uma maior conscientização dos desafios Geocientíficos em nossa sociedade contemporânea.

3. CRITÉRIO DE SELEÇÃO DOS AUTORES

Selecionamos os autores Carlos Alberto Scolari, Robert Pratten, Pierre Levy e Manuel Castells para trazer reflexões sobre a transmídia nas Geociências. Cada autor apresentou perspectivas e abordagens distintas, oferecendo contribuições importantes para a compreensão e aplicação da transmídia no contexto das Geociências.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Esta revisão bibliográfica aborda os estudos e contribuições dos autores, Carlos Alberto Scolari, Robert Pratten, Pierre Levy e Manuel Castells no campo da transmídia. Esses estudiosos têm se destacado por suas perspectivas inovadoras e abordagens únicas no estudo da transmídia, explorando seu impacto e aplicação em diferentes contextos. Suas obras oferecem exemplos importantes sobre como a transmídia por meio das narrativas transmidiática podem ser utilizadas para engajar o público, promover a compreensão e explorar novas possibilidades de comunicação. Ao examinar os principais estudos desses autores, podemos obter uma visão abrangente e aprofundada sobre as diferentes dimensões e potenciais da transmídia.

4.1. AUTOR: CARLOS ALBERTO SCOLARI

É um autor e pesquisador que tem contribuído significativamente para o campo da transmídia. Suas obras abordam diferentes aspectos da narrativa transmídia e suas aplicações em diversos contextos, incluindo a área das Geociências. As características das narrativas transmidiática estão em seu livro "Narrativas Transmedia: Cuando todos los medios cuentan", Scolari (2013) explora as características e princípios das narrativas transmidiática. Ele destaca a importância da colaboração entre diferentes meios e plataformas na criação de narrativas transmídia bem-sucedidas. Suas descobertas ressaltam como a transmídia permite a expansão da história por meio de múltiplas mídias, proporcionando ao público uma experiência imersiva e interativa.

Scolari (2013) apresenta uma série de exemplos e estudos de caso em sua obra, demonstrando a aplicação prática da narrativa transmídia em diferentes projetos. Esses exemplos podem ser de grande relevância para o campo das Geociências, pois ilustram como a transmídia pode ser utilizada para comunicar conceitos complexos de forma acessível e envolvente. Um aspecto fundamental abordado por Scolari (2013) é o engajamento do público na narrativa transmidiática. Ele discute como a participação ativa do público na criação e expansão da história contribui para uma experiência mais significativa e imersiva. No contexto das Geociências, isso pode ser aplicado para envolver o público não especializado e despertar interesse e compreensão em relação a conceitos científicos geológicos, climáticos e ambientais.

Scolari (2013) destaca a importância da cooperação entre diferentes meios de comunicação na narrativa transmidiática. Ele explora como diferentes plataformas como o cinema, a televisão, a internet e redes sociais, podem ser integradas para contar uma história de maneira sinérgica. Essa abordagem pode ser especialmente relevante nas Geociências, onde a combinação de imagens, vídeos, interações online e outros recursos pode enriquecer a compreensão e o envolvimento do público com os conceitos científicos.

As descobertas e conclusões dos estudos de Carlos Alberto Scolari (2013) são de grande relevância para o campo da transmídia em Geociências. Suas pesquisas evidenciam como a narrativa transmídia pode ser uma estratégia eficaz para engajar o público não especializado, promovendo uma compreensão mais acessível de conceitos científicos complexos. Ao destacar a colaboração entre mídias, o engajamento do público e os exemplos práticos, Scolari oferece descobertas importantes sobre como a transmídia pode ser aplicada nas Geociências para comunicar e educar de maneira envolvente e impactante.

4.2. AUTOR: ROBERT PRATTEN

É um autor e especialista em transmedia storytelling que tem realizado estudos significativos no campo das narrativas transmidiática. Suas pesquisas exploram os aspectos práticos e conceituais da criação de narrativas transmidiática e suas aplicações em diversos setores, incluindo as Geociências. Em sua obra "Getting Started in Transmedia Storytelling: A Practical Guide for Beginners", Pratten (2011) fornece um guia passo a passo para a criação de narrativas transmidiática. Ele aborda aspectos importantes, como a definição de metas, a identificação do público-alvo e a seleção das plataformas adequadas para a narrativa. Suas descobertas e orientações são úteis para os profissionais das Geociências que desejam explorar a aplicação da transmídia na comunicação científica.

Pratten (2011) enfatiza a importância de uma abordagem centrada no público e na criação de narrativas transmidiática. Ele destaca a necessidade de compreender as preferências, interesses e comportamentos do público-alvo para desenvolver uma experiência envolvente e coerente. Essa abordagem pode ser aplicada nas Geociências para criar conteúdos de narrativas transmidiático que sejam relevantes, acessíveis e atrativos para o público não especializado.

O autor ressalta a importância de criar experiências envolventes e coesas para os participantes das narrativas transmidiática. Ele explora técnicas de storytelling, interatividade e imersão para promover uma experiência significativa. Nas Geociências, isso pode ser aplicado para apresentar conceitos científicos complexos de forma clara e envolvente, permitindo que o público explore e se envolva com as temáticas geológicas, climáticas e ambientais.

Pratten (2013) destaca a importância da integração de diferentes plataformas e mídias nas narrativas transmidiática. Ele explora como a combinação de elementos como texto, áudio, vídeo, jogos e redes sociais pode enriquecer a experiência do público. Nas Geociências, essa abordagem pode ser aplicada para criar conteúdos transmídia que explorem diversas formas de comunicação, como vídeos explicativos, jogos interativos, aplicativos e mídias sociais.

As descobertas e conclusões dos estudos de Robert Pratten contribuem significativamente para o campo da transmídia em Geociências. Suas pesquisas destacam a importância da criação das narrativas transmidiática centradas no público, que oferecem experiências envolventes e coesas. Ao fornecer orientações práticas e explorar a integração de diferentes plataformas e mídias, Pratten oferece descobertas sobre como a transmídia pode ser aplicada nas Geociências para comunicar conceitos científicos complexos de maneira acessível e envolvente.

Pratten (2011) enfatiza a importância de uma abordagem centrada no público na criação das narrativas transmidiática, destacando que entender as preferências e interesses do público-alvo é fundamental para desenvolver uma experiência envolvente e coerente. Ele argumenta que a transmídia oferece uma oportunidade única de envolver o público não especializado nas Geociências, permitindo que eles explorem e interajam com os conceitos científicos de forma acessível e atrativa.

Além disso, Pratten (2011) destaca a necessidade de criar experiências envolventes e coesas para os participantes das narrativas transmidiática. Ele explora técnicas de storytelling, interatividade e imersão para promover uma experiência significativa, enfatizando a importância de uma narrativa fluida e coerente que se estenda por

diferentes mídias e plataformas. Nas Geociências, essa abordagem pode ser aplicada para apresentar os fenômenos geológicos, climáticos e ambientais de maneira cativante, permitindo que o público se envolva e compreenda melhor os desafios e as descobertas científicas nesse campo.

Outro aspecto relevante abordado por Pratten (2011) é a integração de plataformas e mídias das narrativas transmidiática. Ele explora como a combinação de elementos como texto, áudio, vídeo, jogos e redes sociais pode enriquecer a experiência do público, proporcionando diferentes camadas de informação e interação. Nas Geociências, essa abordagem permite explorar diferentes formas de comunicação, como vídeos explicativos que ilustram processos geológicos, jogos interativos que simulam fenômenos naturais e o uso de mídias sociais para promover o diálogo e a colaboração entre os participantes.

Dessa forma, os estudos de Robert Pratten (2013) têm uma relevância significativa para a reflexão da transmídia em Geociências. Suas pesquisas fornecem orientações práticas e conceituais para a criação de narrativas transmidiática centradas no público, destacando a importância de experiências envolventes e coesas que integrem diferentes plataformas e mídias. Ao aplicar esses princípios, é possível comunicar de forma eficaz conceitos científicos complexos para o público não especializado, promovendo a compreensão e o engajamento com as Geociências.

4.3. AUTOR: PIERRE LEVY

A análise dos principais estudos do autor Pierre Levy (1993) revela suas contribuições relevantes para o campo da transmídia e sua conexão direta com o tema em discussão sobre a reflexão da transmídia aplicada nas Geociências. Em seu livro "O que é virtual?" (1996), Levy discute a natureza da realidade virtual e sua influência na construção do conhecimento. Ele explora a ideia de conectividade como um aspecto central da sociedade digital e argumenta que o ciberespaço oferece novas possibilidades de interação e colaboração. Sua pesquisa destaca a importância da comunicação mediada por computador na era digital.

Em sua obra "Cibercultura" (1999), Levy introduz o conceito de inteligência coletiva, que se refere à capacidade das pessoas de compartilhar conhecimento e criar coletivamente. Ele explora como a interconexão digital pode potencializar a inteligência coletiva, permitindo a colaboração e a criação conjunta de conhecimento. Essa abordagem tem implicações significativas para a transmídia, pois destaca a importância da participação ativa do público na criação de conteúdo.

No livro "As Tecnologias da Inteligência" (1993), Levy aborda a influência das tecnologias digitais no contexto urbano e na formação das cibercidades. Ele discute como as redes sociais e a interação online está transformando a experiência urbana e a comunicação entre as pessoas. Essa pesquisa fornece informações sobre como a transmídia pode ser aplicada em ambientes urbanos e como a comunicação digital afeta a relação das pessoas com o espaço geográfico.

Levy (1999) também se preocupa com as questões éticas e políticas relacionadas à tecnologia digital. Em seu livro "Cibercultura" (1999), ele examina os desafios éticos e morais apresentados pela sociedade digital, incluindo questões de privacidade, segurança e desigualdade. Suas reflexões sobre a importância da ética na era da transmídia são relevantes para o debate sobre a divulgação e o uso responsável de informações científicas nas Geociências.

No contexto da revisão e reflexão da transmídia em Geociências, as obras de Pierre Levy (1999) fornecem exemplos importantes sobre a natureza da comunicação digital, a interação entre os indivíduos e o potencial das tecnologias digitais para a criação colaborativa de conhecimento. Suas ideias sobre conectividade, inteligência coletiva, cibercidades e ética na era digital são relevantes para a compreensão da transmídia como uma abordagem multidimensional que pode ser aplicada no campo das Geociências para promover a comunicação e o engajamento do público.

4.4. AUTOR: MANUEL CASTELLS

Ao realizar a revisão dos principais estudos do autor Manuel Castells, foi possível identificar contribuições significativas para o campo da transmídia e sua relação com o tema reflexão da transmídia em Geociências. Em sua obra "A Sociedade em Rede" (1996), Castells analisa as transformações sociais, políticas e econômicas na era da informação. Ele discute a emergência de uma nova forma de organização social baseada em redes de comunicação e destaca a importância da interconectividade digital na formação de comunidades virtuais. Sua pesquisa fornece informações importantes sobre a influência das redes de comunicação na transmídia e sua relação com as Geociências, especialmente na disseminação de informações científicas para o público em geral.

No livro "Comunicação e Poder" (2009), Castells aborda as dinâmicas de poder na era da informação e examina a relação entre comunicação, mídia e política. Ele discute o papel das mídias digitais na formação de opiniões públicas e na mobilização social. Essa pesquisa é relevante para a compreensão da transmídia como uma ferramenta de engajamento e disseminação de conhecimento nas Geociências, onde a comunicação e a mídia desempenham um papel fundamental.

Em seu trabalho "O Poder da Identidade" (1997), Castells discute a relação entre espaço, lugar e identidade na sociedade contemporânea. Ele explora como as tecnologias de comunicação afetam a forma como percebemos, vivenciamos e nos relacionamos com o espaço geográfico. Essa perspectiva é importante na reflexão da transmídia em Geociências, pois ressalta a importância de considerar o contexto espacial e geográfico na produção e no consumo de conteúdo científico transmídia.

No livro "A Galáxia da Internet" (2003), Castells discute os impactos da internet e da globalização na sociedade contemporânea. Ele analisa como a tecnologia digital permite a conexão global, ao mesmo tempo em que valoriza as expressões e culturas locais. Essa pesquisa é relevante para a reflexão da transmídia em Geociências, pois destaca a importância de adaptar as narrativas e os conteúdos científicos às especificidades locais, considerando o contexto geográfico e cultural.

Os estudos de Manuel Castells (1996) fornecem uma visão abrangente e teórica dos desafios e oportunidades da sociedade em rede na era da informação. Suas reflexões sobre redes de comunicação, poder, espaço e globalização têm implicações significativas para a compreensão e aplicação da transmídia em Geociências. As contribuições de Castells destacam a importância da interconectividade digital, do papel da comunicação e mídia, da relação entre espaço e lugar, e da consideração das dinâmicas globais e locais na produção e no consumo de conteúdo científico transmídia nas Geociências. Ao analisar os estudos de Castells, foi possível observar que suas principais descobertas e conclusões estão relacionadas à transformação da sociedade em rede, impulsionada pela tecnologia da informação e comunicação.

Uma das principais contribuições de Castells é sua análise da interconectividade digital e seu impacto nas relações sociais e na formação de comunidades virtuais. Ele argumenta que a transmídia, como uma forma de comunicação multidirecional e participativa se beneficiam dessa interconexão ao permitir a disseminação de informações científicas para um público não especializado.

Outra contribuição importante de Castells é sua abordagem sobre o poder e a política na era da informação. Ele destaca como as mídias digitais desempenham um papel importante na formação de opiniões públicas e na mobilização social. No contexto da transmídia em Geociências, isso implica que a disseminação de conteúdo científico por meio de diferentes plataformas pode influenciar a percepção e a compreensão pública dos assuntos Geocientíficos.

Além disso, a ênfase de Castells na relação entre espaço, lugar e identidade é relevante para a reflexão da transmídia em Geociências. Ele ressalta que as tecnologias de comunicação digital afetam a forma como percebemos e nos relacionamos com o espaço geográfico. Portanto, ao adotar abordagens transmídia, é necessário considerar as especificidades locais, adaptando o conteúdo científico às diferentes realidades geográficas e culturais.

A discussão de Castells sobre globalização e localização é pertinente para a reflexão da transmídia em Geociências. Ele destaca que, apesar da conectividade global, as expressões e culturas locais têm importância e valor. Isso implica que os conteúdos científicos transmidiáticos devem considerar a diversidade geográfica e cultural, buscando formas de transmitir conhecimentos Geocientíficos de maneira acessível e relevante para diferentes contextos.

Assim, os estudos de Manuel Castells trazem importantes contribuições para a reflexão da transmídia em Geociências, fornecendo informações sobre a interconectividade digital, o poder e a política na sociedade em rede, a relação entre espaço e lugar, e a globalização e localização. Suas análises teóricas enriquecem a compreensão dos desafios e oportunidades da transmídia na divulgação de conteúdos científicos para um público não especializado nas Geociências.

5. DISCUSSÃO

A discussão acerca do uso da abordagem transmídia nas Geociências abrange a contribuição de diversos outros autores, que não foram abordados na revisão bibliográfica, mas que merecem ser mencionados para futuras pesquisas sobre o tema. Entre eles, destacam-se Henry Jenkins (2006), Jay David Bolter e Richard Grusin (1999), Eduardo Pellanda (2014) e Christy Dena (2009). Cada um desses autores traz perspectivas importantes para entender como a transmídia pode ser aplicada na divulgação e engajamento com as questões Geocientíficas.

Henry Jenkins é um dos principais estudiosos da transmídia e tem contribuído significativamente para o campo. Em seu livro "Cultura da Convergência" (2006), ele aborda como as narrativas transmídia estão transformando a cultura e a participação do público. Essa obra oferece conhecimentos importantes sobre a forma como a transmídia pode ser utilizada para envolver o público nas Geociências, permitindo uma compreensão mais profunda e uma participação mais ativa.

Jay David Bolter e Richard Grusin exploram a ideia de remediação em seu livro "Remediation: Understanding New Media" (1999). Eles argumentam que as mídias contemporâneas estão constantemente se referindo e se apropriando umas das outras. Essa perspectiva é relevante para entender como a transmídia se relaciona com a disseminação de conhecimento nas Geociências. Ao explorar como diferentes mídias podem se complementar e se interconectar, é possível criar narrativas transmídia envolventes que promovam uma compreensão mais ampla e acessível das questões Geocientíficas.

Eduardo Pellanda, autor do livro "Transmídia: Um Guia de Conceitos" (2014) oferece um olhar aprofundado sobre os fundamentos teóricos e práticos da transmídia. Seu trabalho pode fornecer ideias sobre como aplicar estratégias transmídia específicas para a divulgação de informações Geocientíficas. Ao compreender os princípios e as melhores práticas da transmídia, os profissionais das Geociências podem criar narrativas envolventes que alcancem e engajem o público não especializado.

Christy Dena, pesquisadora e escritora, concentra-se na narrativa transmídia e nos jogos. Seu livro "Transmedia Practice: Theorising the Practice of Expressing a Fictional World across Distinct Media and Environments" (2009) fornece perspectivas importantes sobre a criação de narrativas transmídia envolventes nas Geociências. Ao explorar e como expressar um mundo ficcional por meio de diferentes mídias e ambientes, Dena oferece sugestões sobre como criar experiências transmídia imersivas e impactantes nas Geociências.

Além desses autores, a revisão da literatura dos pesquisadores que foram citados Carlos Alberto Scolari, Robert Pratten, Pierre Levy e Manuel Castells revelaram várias tendências, lacunas e divergências na literatura sobre a transmídia em Geociências. Suas análises ofereceram exemplos importantes sobre o estado atual do conhecimento nessa área e destacam possíveis direções futuras da pesquisa.

Esses autores concordam que a cooperação entre diferentes mídias é fundamental para criar narrativas transmídia envolventes e imersivas nas Geociências. Esses estudiosos também enfatizaram a importância de uma abordagem centrada no público na criação de narrativas transmídia em Geociências. Carlos Alberto Scolari e Robert Pratten destacam a necessidade de definir metas claras e selecionar plataformas adequadas para alcançar e engajar o público-alvo. Essa abordagem pragmática enfatiza a criação de experiências coesas e envolventes, adaptadas às necessidades e expectativas do público não especializado.

Além disso, a interconectividade digital e sua influência na disseminação de informações científicas nas Geociências emergem como uma tendência importante. Pierre Levy (1993) destaca como a transmídia se beneficia dessa interconexão para ampliar a compreensão e o acesso a esses temas, promovendo uma participação mais ampla e facilitando a construção de conhecimento em uma sociedade conectada digitalmente.

No entanto, apesar das tendências promissoras, ainda existem lacunas na literatura sobre a transmídia em Geociências. Uma lacuna significativa é a falta de estudos específicos que explorem a eficácia e o impacto das estratégias transmídia na divulgação de informações Geocientíficas complexas. Também há uma necessidade de investigar como adaptar os princípios da transmídia para diferentes contextos geográficos e culturais, considerando as especificidades das Geociências.

Divergências também podem ser observadas entre os autores. Enquanto Scolari (2013) e Pratten (2013) enfatizam a importância da cooperação entre diferentes mídias e da abordagem centrada no público, Levy (1993) e Castells (2003) trazem reflexões mais amplas sobre a interconectividade digital e o papel das mídias digitais na formação de opiniões públicas e na mobilização social. Essas divergências refletem diferentes perspectivas teóricas e metodológicas na abordagem da transmídia em Geociências.

A análise dos resultados da revisão da literatura revela tendências promissoras na aplicação da abordagem transmídia nas Geociências. Os estudos dos autores destacam a importância da cooperação entre mídias, uma abordagem centrada no público e o potencial da interconectividade digital como elementos-chave nesse contexto. No entanto, ainda existem lacunas a serem preenchidas e divergências a serem exploradas, ressaltando a necessidade de pesquisas mais aprofundadas nessa área. Além disso, é fundamental aprofundar a compreensão sobre como a transmídia pode impulsionar a participação pública e o engajamento nas questões Geocientíficas, proporcionando uma maior conscientização e apreciação dos desafios e benefícios relacionados ao nosso planeta.

Estudos que examinem a interação entre o público e as narrativas transmidiáticas, bem como o efeito dessas narrativas na construção do conhecimento e na tomada de decisões, são necessários para fortalecer o campo. Outra lacuna identificada é a necessidade de explorar o potencial da transmídia como uma ferramenta educacional das Geociências. Compreender como as estratégias transmidiáticas podem ser aplicadas no ensino e na aprendizagem desses temas que podem proporcionar experiências de aprendizado mais envolventes e eficazes para estudantes de diferentes faixas etárias.

Além disso, é essencial explorar a dimensão ética da transmídia nas Geociências. A disseminação de informações Geocientíficas por meio de narrativas transmidiáticas levanta questões relacionadas à precisão, imparcialidade e responsabilidade na comunicação científica. É importante considerar como evitar a propagação de desinformação e como promover uma divulgação responsável e baseada em evidências por meio dessas estratégias.

Outro aspecto relevante é a necessidade de envolver os profissionais das Geociências na criação de narrativas transmidiáticas. Ao trabalhar em colaboração com especialistas, cientistas e comunicadores científicos, é possível garantir a precisão dos conteúdos Geocientíficos apresentados nas diferentes mídias e promover uma abordagem mais autêntica e confiável.

A discussão sobre o uso da transmídia nas Geociências envolveu a contribuição de diversos autores, como Henry Jenkins, Jay David Bolter, Richard Grusin, Eduardo Pellanda, Christy Dena, Carlos Alberto Scolari, Robert Pratten, Pierre Levy e Manuel Castells. Esses estudiosos destacam a importância da cooperação entre mídias, uma abordagem centrada no público, a interconectividade digital e a adaptação da transmídia a diferentes contextos geográficos e culturais.

Para avançar o conhecimento da transmídia nas Geociências, serão necessários estudos que investiguem a eficácia e o impacto das estratégias transmídia na divulgação de informações Geocientíficas, explorando também seu potencial como ferramenta educacional e considerando aspectos éticos relacionados à comunicação científica. Além disso, é fundamental envolver os profissionais das Geociências na criação de narrativas transmidiática, garantindo a precisão e autenticidade dos conteúdos apresentados.

6. CONCLUSÃO

A revisão da literatura dos autores Carlos Alberto Scolari, Robert Pratten, Pierre Levy e Manuel Castells sobre a transmídia nas Geociências revelou a importância e o potencial dessa abordagem na divulgação de conteúdos científicos complexos relacionados às Geociências. A partir dessa revisão, foram identificados os principais pontos discutidos, reafirmando a relevância do tema e destacando as principais contribuições.

A revisão de literatura destacou a relevância do uso da transmídia nas Geociências como uma ferramenta fundamental para a disseminação de informações complexas e multidisciplinares. As contribuições dos autores forneceram dados atualizados sobre a importância da cooperação entre mídias, a abordagem centrada no público, a interconectividade digital e o papel das mídias digitais na divulgação Geocientífica.

A revisão também identificou lacunas na literatura existente, como a falta de estudos empíricos que avaliem a eficácia das estratégias transmidiáticas, a necessidade de abordagens integradas na transmídia Geocientífica, à análise das implicações éticas e sociais, a promoção da colaboração entre disciplinas e profissionais, e a exploração de novas plataformas e tecnologias emergentes na criação de narrativas transmidiáticas nas Geociências. Essas lacunas fornecem direções para pesquisas futuras, abrindo espaço para estudos que investiguem a eficácia das estratégias transmídia na divulgação Geocientífica, tanto em termos de engajamento do público como de impacto na compreensão dos temas abordados.

Além disso, a pesquisa futura pode se concentrar em abordagens integradas na transmídia Geocientífica, explorando como diferentes mídias podem ser combinadas de forma sinérgica para criar narrativas coesas e envolventes. A análise das implicações éticas e sociais também pode merecer atenção, considerando os desafios relacionados à disseminação de informações científicas e o impacto das narrativas transmidiáticas na formação de opiniões públicas.

Outra direção para pesquisas futuras é a promoção da colaboração entre disciplinas e profissionais na criação de narrativas transmidiáticas nas Geociências. A transmídia é uma abordagem multidisciplinar que pode ser beneficiada da contribuição de especialistas em diferentes áreas, como cientistas, comunicadores, designers, programadores e artistas, com objetivo à criação de experiências transmidiáticas eficazes.

Por fim, é importante explorar o potencial de novas plataformas e tecnologias emergentes na criação de narrativas transmidiáticas nas Geociências. O avanço tecnológico, como realidade virtual, realidade aumentada, inteligência artificial e mídias interativas, oferecem oportunidades para aprimorar a imersão e o envolvimento do público, criando experiências mais impactantes e inovadoras.

REFERÊNCIAS

[1] BOLTER, J. D., & Grusin, R. (1999). Remediation: Understanding New Media. MIT Press.

[2] CANDY, L. (2006). Practice-based Research in the Creative Arts: Foundations and Futures. Leonardo, 39(4), 391-396.

[3] CAQUARD, S. (2013). Cartography III: Mapping Narrative cartography as a method in geography. Progress in Human Geography, 37(1), 135-144.

[4] CASTELLS, M. (2003). A Era da Informação: Economia, Sociedade e Cultura.

[5] CASTELLS, M. (2009). Comunicação e poder. Editora Paz e Terra.

[6] CASTELLS, M. (2010). The Rise of the Network Society: The Information Age: Economy, Society, and Culture. Wiley-Blackwell.

[7] DENA, C. (2009). Transmedia Practice: Theorising the Practice of Expressing a Fictional World across Distinct Media and Environments. University of Sydney.

[8] DOMINGUES, D. (2015). Transmedia Literacy in Science Communication: An Analysis of the Expanding Universe of Science Communication. Journal of Science Communication, 14(03), C01.

[9] FIDALGO, T., et al. (2021). Transmedia Storytelling and Climate Change Communication: A Systematic Literature Review. Frontiers in Communication, 6, 694754.

[10] FILHO, R. A. L., et al. (2019). The Role of Transmedia Storytelling in Science Communication: Evidence from a Global Scoping Review. Public Understanding of Science, 28(1), 22-43.

[11] GOSCIOLA, V. (2017). Popularization of Science: Reflections on Science Communication in Brazil. Acta Scientiarum: Language and Culture, 39(1), 31-39.

[12] JENKINS, H. (2006). Convergence Culture: Where Old and New Media Collide. New York University Press.

[13] JENKINS, H. (2007). Transmedia Storytelling 101. Confessions of an Aca-Fan. Retrieved from https://henryjenkins.org/2007/03/transmedia_storytelling_101.html

[14] JENKINS, H. (2006). Cultura da Convergência: A colisão entre os velhos e novos meios de comunicação. Aleph.

[15] KOUADIO, A. N., et al. (2021). Transmedia Storytelling in Science Communication: Theoretical Frameworks and Practical Applications. Frontiers in Communication, 6, 681231.

[16] LÉVY, P. (1993). As Tecnologias da Inteligência.

[17] LEVY, P. (1996). O que é o virtual?

[18] LEVY, P. (1998). Becoming Virtual: Reality in the Digital Age. Plenum Trade.

[19] LEVY, P. (1999). Cibercultura.

[20] MURRAY, J. H. (2012). Inventing the Medium: Principles of Interaction Design as a Cultural Practice. MIT Press.

[21] PELLANDA, E. (2014). Transmídia: Um Guia de Conceitos. Editora Sulina.

[22] PRATTEN, R. (2011). Getting Started in Transmedia Storytelling: A Practical Guide for Beginners.

[23] PRATTEN, R. (2013). Getting Started in Transmedia Storytelling: A Practical Guide for Beginners. CreateSpace Independent Publishing Platform.

[24] SCOLARI, C. A. (2013). Narrativas Transmedia: Cuando todos los medios cuentan.

[25] SCOLARI, C. A. (2013). Narrativas Transmedia: cuando todos los medios cuentan. Deusto.

[26] VAN DIJK, T. A. (2017). Discourse and Knowledge: A Sociocognitive Approach. Cambridge University Press.

Capítulo 11

Estudo comparativo da estabilidade de taludes em maciço rochoso em trechos da PE-160 e BR-104 por classificações geomecânicas

Tallys Celso Mineiro
Carlos Rodrigues Pontes
Shirley Minnell Ferreira de Oliveira
Gabriel Magno Cavalcante Calado

Resumo: O estudo de estabilidade de taludes é de extrema importância no âmbito da infraestrutura civil, visto que traz segurança às obras concebidas a sociedade, principalmente obras lineares como as rodovias. Na concepção de obras lineares é recorrente o uso de atribuições de corte em maciços rochosos para a estruturação de taludes para que o greide da via tenha suas condições técnicas estabelecidas em projeto. Este estudo tem como finalidade analisar a estabilidade de taludes rochosos em trechos das rodovias PE-160 e BR-104 por meio de classificações geomecânicas em condições seca e umedecida das descontinuidades intrínsecas do maciço. Dessarte, é deveras importante comentar que as classificações geomecânicas são metodologias empíricas que definem quantificando e qualificando a estabilidade global do talude, podendo este vir a ter regiões de instabilidade consoante as mesmas classificações. Adicionalmente, o presente estudo utiliza para tais verificações as metodologias de classificação RMR (Rock Mass Rating) e SMR (Slope Mass Rating). Os resultados alcançados mostram taludes bem estruturados em condições secas; contudo, que apresentam qualificações a serem observadas em situações de descontinuidades umedecidas. Logo, sendo, estudos como este essenciais para tomadas de decisões na segurança da trafegabilidade de rodovias.

Palavras-chave: Rodovias, Estabilidade de Taludes, RMR, SMR, Geomecânica.

1. INTRODUÇÃO

Ultimamente a Mecânica das Rochas vem sofrendo um grande processo de evolução no que concerne ao desprendimento de rochas de seus maciços geradores, bem como nos processos de escavações e corte de maciços, devido tanto a economia mineira ou por diversas obras de infraestrutura (BRADY; BROWN, 2004).

Por vezes, é muito corriqueiro o uso de cortes ou escavações de maciços rochosos para fins rodoviários, e, consequentemente, dependendo das características da área de estudo pode haver instabilidades e para isto deve-se dedicar atenção inabitual para um potencial desprendimento de blocos (WYLLIE; MAH, 2005).

A instabilidade de maciços e taludes rochosos provém da dinâmica de evolução das encostas, que juntamente com processos de meteorização provocam e sucetibilizam a uma redutibilidade resistiva dos maciços rochosos (GERSCOVICH, 2012).

Consoante Parizzi et al. (2009), os fatores que influenciam no comportamento dos mecanismos rúpteis em maciços rochosos fraturados são o grau de alteração da rocha ou de suas descontinuidades e a presença de água percolante. Logo, o estudo comparativo entre as condições seca e umedecida das classificações geomecânicas é grandiosamente válido para averiguar a influência da percolação de água na estabilidade dos taludes ou na característica portante dos maciços.

Acerca das classificações geomecânicas, o RMR e o SMR são metodologias muito utilizadas para verificar a estabilidade de taludes. O RMR concerne num índice dependente de outros parâmetros referente a qualidade da rocha do maciço, das descontinuidades presentes no maciço e suas características qualitativas e as condições hidrogeológicas ao qual o talude é submetido (BIENIAWSKI, 1989). Por sua vez, o SMR concerne numa melhoria do RMR visando as características geométricas das condicionantes constituintes do talude (ROMANA, 2003).

Assim sendo, é fatídico a importância de se estudar a ruptibilidade de taludes rochosos em rodovias para garantir segurança e trafegabilidade destas obras lineares. Isto posto, a objetivação deste estudo é verificar a condição umedecida das descontinuidades sobre os dados de Mineiro et al. (2021) em trechos das rodovias PE-160 e BR-104.

2. METODOLOGIA

2.1. LOCALIZAÇÃO DOS TALUDES ESTUDADOS

Consoante Mineiro et al. (2021), a região de estudo localiza-se no Agreste de Pernambuco entre os municípios de Santa Cruz do Capibaribe e Toritama. Sendo os trechos de extrema importância para a economia local, uma vez que são rodovias utilizadas para o escoamento de produtos têxteis que é a fonte de renda primordial da região. Adicionalmente, consoante o mesmo autor, 8 taludes foram analisados e obtidas suas localizações, evidenciadas na Tabela 1.

Tabela 1. Localização dos taludes estudados

TALUDE	LATITUDE	LONGITUDE
Talude 1	7°59’37” S	36°5’41” O
Talude 2	7°58’32” S	36°6’18” O
Talude 3	7°58’21” S	36°6’34” O
Talude 4	7°58’21” S	36°6’34” O
Talude 5	7°58’2” S	36°7’8” O
Talude 6	7°58’0” S	36°7’19” O
Talude 7	7°57’32” S	36°11’19” O
Talude 8	7°57’27” S	36°11’24” O

Fonte: Mineiro et al. (2021).

2.2. OBTENÇÃO DOS DADOS E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA

A obtenção dos dados do presente estudo provém do trabalho de Mineiro et al. (2021), que fez todo o processo de caracterização geológico-geotécnica para os maciços rochosos de 8 taludes, acomodando 23 famílias de juntas para aplicar na metodologia RMR. Adicionalmente, os dados SMR foram aplicados somente para as famílias de descontinuidades que mostraram características geométricas de ruptura planar.

Para duas famílias de descontinuidades foi-se calculado o índice SMR, consoante Romana (1985), para que os Taludes 3 (família 7) e 5 (família 15) tivessem representatividade nesta metodologia de cálculo. Por conseguinte, os índices foram classificados de acordo com seus precursores.

O índice RMR, que determina a capacidade autoportante do maciço rochoso, foi qualificado por Bieniawski (1973) desde maciços muito ruins a maciços muito bons, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da qualidade do maciço pelo índice RMR

RMR	CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO do maciço
100 – 81	I	Muito bom
80 – 61	II	Bom
60 – 41	III	Regular
40 – 21	IV	Ruim
< 20	V	Muito ruim

Fonte: Adaptado Bieniawski (1973).

Alternativamente, Romana (2003) classificou a qualidade dos taludes em maciços rochosos e determinou quais as possibilidades de rupturas poderiam vir a acontecer localmente ou globalmente para os taludes de acordo com as respectivas classificações, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação da estabilidade dos taludes pelo índice SMR

classe	sMR	DESCRIÇÃO DO MACIÇO	ESTABILIDADE	TIPO DE RUPTURA
I	100 – 81	Muito bom	Completamente estável	-
II	80 – 61	Bom	Estável	Alguns blocos
III	60 – 41	Regular	Parcialmente instável	Rupturas planares ou em cunha
IV	40 – 21	Ruim	Instável	Rupturas planares e em cunha de grandes dimensões
V	< 20	Muito ruim	Completamente instável	Rupturas de grandes dimensões em planos contínuos

Fonte: Adaptado Romana. (2003).

A partir dos dados obtidos por Miniero (2021), foi-se calculado os respectivos índices RMR e SMR correspondentes para a situação de descontinuidades umedecidas, que proporcionam uma redutibilidade da competência dos maciços, e analisada as condições de estabilidade qualitativamente para cada talude.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados adquiridos e os demais índices calculados por meio das metodologias propostas por Bieniawski (1989) e Romana (1985), pode-se observar na Tabela 4 os valores adquiridos por Mineiro (2021) e os processados neste estudo.

Tabela 4. Valores das classificações geomecânicas nas situações seco e umedecido

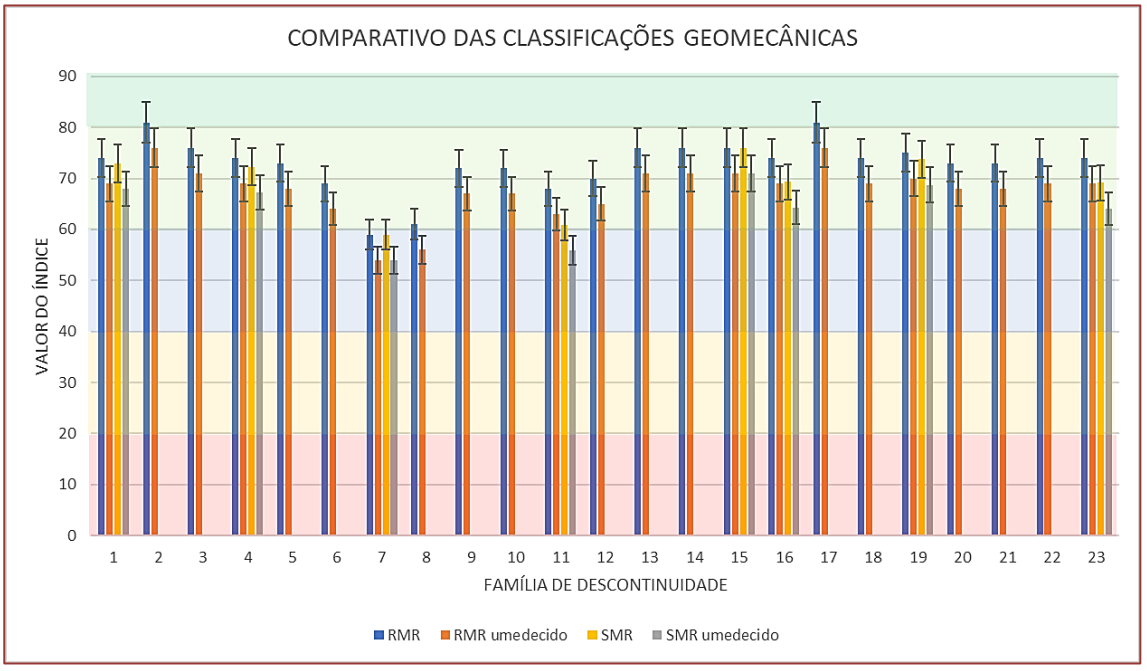
talude	FAMÍLIA	RMR seco	SMR seco	RMR umedecido	smr umedecido
1	F1	74	73	69	68
	F2	81	-	71	-
	F3	76	-	66	-
2	F4	74	72	69	67
	F5	73	-	68	-
	F6	69	-	64	-
3	F7	59	59	54	54
	F8	61	-	56	-
4	F9	72	-	67	-
	F10	72	-	67	-
	F11	68	61	63	56
	F12	70	-	65	-
5	F13	76	-	71	-
	F14	76	-	71	-
	F15	76	76	71	71

Tabela 4. Valores das classificações geomecânicas nas situações seco e umedecido.(continuação)

talude	FAMÍLIA	RMR seco	SMR seco	RMR umedecido	smr umedecido
6	F16	74	69	69	64
	F17	81	-	76	-
	F18	74	-	69	-
7	F19	75	74	70	69
	F20	73	-	68	-
	F21	73	-	68	-
8	F22	74	-	69	-
	F23	74	69	69	64

Por conseguinte, pode-se plotar um gráfico quali-quantitativo, a qual as barras quantificam os índices e as faixas de cores qualificam os mesmos de acordo com os intervalos de classificação expostas nas metodologias adotadas pelas Tabelas 2 e 3. Por seguridade, os índices neste gráfico são evidenciados com barras de erros percentuais, uma vez que as classificações são muito relativas na contagem de pesos. O gráfico mencionado pode ser observado na Figura 1.

Figura 1. Qualificação dos índices de classificação geomecânica RMR e SMR



Dessarte, visivelmente, nenhuma família de descontinuidade se classificou de forma não satisfatória, ou seja muito ruim (cor vermelha) ou ruim (cor amarela). Apenas 3 famílias de descontinuidades são ditas, em termos de estrutura autoportante, como sendo regulares (cor azul) e as demais classificadas com maciço de boa descrição (cor verde claro) e, logo, condicionando taludes estáveis.

É vultuosa a análise de que a condição umedecida das descontinuidades não interfere muito, neste caso, na estabilidade global dos taludes como pode ser observado na Figura

1. Isto se deve ao fato de os maciços analisados em sua maioria serem competentes quanto à resistividade e apresentarem pouca densidade volumétrica de juntas.

Embora os resultados sejam promissores e bons, não implicam em total descaso de averiguação de seguridade ou medidas de precaução com o tempo, uma vez que instabilidades locais podem vir a surgir com a interferência de agentes externos como o intemperismo, por exemplo. Outrossim, deve-se demandar mais atenção aos Taludes 3 e 4, pois foram os que mostraram os menores resultados e, logo, ditos parcialmente instáveis de acordo com a Tabela 3.

4. CONCLUSÃO

O estudo de estabilidade de taludes em condições umedecidas é importante pois retrata a observância do ambiente rochoso sob regime chuvoso, por exemplo. De certo modo, expressar a estabilidade de uma estrutura rochosa em um único parâmetro é complexa, pois localmente pode haver a possibilidade de instabilidades. Porém, as metodologias admitidas neste estudo guiam e norteiam a uma análise global.

Dessarte, por meio das classificações geomecânicas adotadas, a influência da presença de água umedecendo as juntas do maciço reduzem somente sua capacidade autoportante; contudo, não acometendo a qualidade do maciço ou a inferência da estabilidade dos taludes neste caso.

Comparativamente, o estudo mostrou competência dentre os elementos analisados em situações distintas, o que valida uma maior seguridade e agilização em futuras tomadas de decisões referentes à área de estudo.

REFERÊNCIAS

[1] Bieniawski, Z. T. (1973) Engineering classification of jointed rock masses. Transactions of South Africa Institute of Civil Engineerings. 15, p. 344-355.

[2] Bieniawski, Z. T. (1989) Engineering rock mass classification. New York, John Wiley. 251p.

[3] Brady, B. H. G.; BROWN, E. T. (2004) Rock mechanics for underground mining. 3 ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

[4] Gerscovich, D. (2012) Estabilidade de taludes. Editora Oficina de Textos. São Paulo, 176 p.

[5] Mineiro, T. C.; Calado, G. M. C.; Guimarães Filho, W. L.; Souza, A. B. De; Oliveira, S. M. F. de. (2021) Geomechanical classification and stability analysis of road slopes in rock masses in stretches of the PE-160 and BR-104 roadways . Research, Society and Development. [S. l.], v. 10, n. 16, p. e209101623637.

[6] Romana, M. (1993) A geomechanics classification for slopes: slope mass rating. Comprehensive Rock engineering. London. Pergamon. p. 575-600.

[7] Romana, M. (1985) New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. International Symposium on the Role of Rock Mechanics – ISRM. Zacatecas. p. 49-53.

[8] Romana, M.; Séron, J. B.; Montalar, E. (2003) SMR geomechanics classification: application, experience and validation. Journal Nielen van der Merwe. 10th Congress of the International Society for Rock Mechanics. Saldton. p. 8-12.

[9] Parizzi, M. G.; Sobreira, F. G.; Galvão, T. C. B.; Elmiro, M. A. T.; Beirigo, E. A. (2009) Mecanismos de ruptura de taludes rochosos de Belo Horizonte, MG. Anais da 5ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas – COBRAE, 9 p.

[10] Wyllie, D. C.; Mah, C. W. (2005) Rock slope engineering: civil and mining. 4 ed. New York: Spon Press

Capítulo 12

Ficocianina da Arthospira (Spirulina) platensis: Uma revisão do efeito da intensidade de luz nos cultivos

Ingrid Rocha Teixeira
Marlene Guevara dos Santos

Resumo: Uma alternativa aos corantes sintéticos utilizados na indústria alimentar são os pigmentos naturais, como os provenientes de microrganismos. Nesse sentido, a cianobactéria *Spirulina platensis* apresenta em sua composição elevado teor de ficocianina, pigmento de coloração azul, que possui atividade antioxidante, anti-inflamatória e anticarcinogênica. Para obtenção da biomassa, o cultivo autotrófico é comumente utilizado, todavia, limitações associadas a flutuabilidade da iluminação solar resulta em baixa produtividade. Nesse sentido, utilizar iluminação artificial, a exemplo das LEDs, apresenta-se como uma alternativa viável para superar tais limitações. Assim sendo, o presente trabalho elaborou uma revisão da literatura acerca das estratégias de cultivos que utilizam LEDs a fim de elevar o conteúdo de ficocianina na *Spirulina platensis*. Os resultados revelaram que a incidência de LED vermelha durante os cultivos apresenta efeito positivo no crescimento da biomassa, todavia, com relação ao efeito das LEDs no aumento da produtividade das ficocianinas, embora os achados na literatura divirjam muito dentre trabalhos encontrados, leds amarela, azul e verde promovem efeito positivo. O tempo de incidência de luz durante os cultivos, o fotoperíodo (integral, parcial) e o uso combinado de LEDs apresentam-se como parâmetros que precisam serem melhores explorados. No geral, foram encontrados poucos estudos até o momento, sendo um indicativo de que novas investigações precisam ser realizadas para um melhor entendimento.

Palavras-chave: Cianobactéria; cultivo; pigmento natural, ficobiliproteínas, LEDs.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, existe uma tendência mundial em substituir materiais de origens não renováveis pelos chamados biomateriais, que são produtos de origem renovável e totalmente biodegradáveis. Atrelado a isso, vem crescendo a preocupação com os impactos ambientas causados pelo descarte inadequado de rejeitos. Essas inquietações justificam a enorme importância de se conhecer, sintetizar e caracterizar novos bioprodutos desenvolvidos com foco na viabilidade econômica e na sustentabilidade. Nesse contexto, devido à crescente demanda por pigmentos naturais para aplicação em alimentos e cosméticos, a busca por novas fontes e métodos para obtenção desses pigmentos tem se intensificado (Jespersen et al. 2005; Giraldo-Calderón et al. 2018; Käferböck et al. 2020).

Arthospira plantensis, uma cianobactéria popularmente conhecida como *Spirulina platensis* (*S. platensis*) destaca-se por apresentar em sua composição elevado teor de ficocianina (C-PC), pigmento natural de coloração azul, hidrossolúvel, com absorção máxima no comprimento de onda de 620 nm, que além da utilização como corante, possui propriedades antioxidantes, antiflamatórias e anticarcinogênicas, o que torna sua utilização ainda mais interessantes para aplicação industrial (Romay et al. 2005; Chentir et al. 2018). A literatura reporta que vários estudos têm sido realizados com o objetivo de aumentar o conhecimento biotecnológico e o potencial produtivo da *S. platensis* a fim de elevar o conteúdo de ficocianina. Nesse sentido, a intensidade, fonte e regime de luz (fotoperíodo), bem como temperatura, pH, composição de nutrientes e o tipo de sistema de cultivo apresentam-se como parâmetros com forte influência na composição da biomassa (García-López et al. 2020; Chaiklahan et al. 2022).

O potencial fotossintético das cianobactérias para crescimento é amplamente reconhecido, visto que esses organismos são bastantes eficientes em utilizar luz como fonte de energia. Nesse contexto, nota-se que a energia luminosa é um dos fatores mais importantes durante o cultivo das cianobactérias, para que o processo da fotossíntese ocorra (Shen et al. 2017). Recentemente, alguns estudos demonstraram que a manipulação das condições do meio, a exemplo de utilizar iluminação artificial ao invés da solar, pode estimular a produção de biomassa e de compostos de alto valor agregado. A luz artificial é uma fonte controlável que permite maior eficiência e um processo mais padronizado, o que se resulta no aumento da produtividade (García-López et al. 2020; Lysenko et al. 2021).

Esta revisão se concentra em identificar o efeito de diferentes espectros de luz LEDs no crescimento celular da biomassa e na produção de ficocianina da cianobactéria *S. platenses*, bem como avaliar as vantagens e desvantagens dessas estratégias de cultivo.

2. CIANOBACTÉRIAS

Pertencentes ao reino Monera, as cianobactérias, também conhecidas por algas azuis ou algas cianofíceas, estão entre as formas de vida mais primitivas da Terra. São microrganismos procarióticos, comumente encontradas em águas doces e salgadas, que podem crescer rapidamente e se adaptar a diferentes condições ambientais e climáticas, em função da simplicidade de sua estrutura celular (Aliyu et al. 2021). Nos últimos anos, esses microrganismos têm chamado a atenção devido a sua capacidade de produzir uma ampla variedade de compostos orgânicos, tais como, carboidratos, lipídios e proteínas, que podem ser utilizados como matéria-prima para uma série de bioprodutos valiosos,

como biocombustíveis, pigmentos e compostos médicos (Tian-Yuan et al. 2014; Castillo et al. 2021).

Assim como as plantas, as cianobactérias realizam fotossíntese para obtenção de energia. No entanto, por não possuírem clorofila-b, elas absorvem luz principalmente na região azul e vermelha do espectro visível devido à presença da clorofila-a. Para compensar essa lacuna, esses microrganismos possuem as ficobiliproteínas (PBPs) que são responsáveis por absorver a porção de luz que não é absorvida pela clorofila, tornando o processo de fotossíntese mais eficiente. As PBPs estão localizadas nas ficobilissomas, os quais estão situadas sobre a superfície externa da membrana do tilacoide. (Hsieh-Lo et al., 2019). Dependendo da cor e das propriedades de absorbância, as PBPs podem ser divididas em três principais classes: ficoeritrina (PE, de cor rosa brilhante ou vermelho), ficocianina (C-PC, de cor azul mais escuro) e aloficocianina (APC, de cor azul mais 22 claro) (İlter et al., 2018; Sun et al., 2006).

No geral, as cianobactérias apresentam-se como uma importante fonte de pigmentos, lipídeos, proteínas e carboidratos. Temperatura e exposição ao sol são fatores que podem afetar fortemente a composição desses microrganismos (Narciso, 2016; Singh et al., 2005). Atualmente, o procedimento mais utilizado para o cultivo é o crescimento autotrófico. Nesse tipo de cultivo, é utilizado energia solar e CO_2 como fonte de carbono para realização da fotossíntese (Tian-Yuan et al. 2014; Shen et al. 2017). Contudo, a produção da biomassa em culturas autotróficas é limitada principalmente pela influência da luz. A exposição dos cultivos a alta intensidade luminosa pode levar a fotoinibição, enquanto baixa iluminação resulta em energia insuficiente para o processo. (Eriksen 2008; Perez-Garcia et al. 2011; Tian-Yuan et al. 2014).

Dentre as diferentes espécies de cianobactérias, a *S. platensis* concentra grande parte dos estudos que envolvem a extração da ficocianina (Hsieh-Lo et al., 2019; Singh et al.,2005). Sendo que, além da ficocianina, esse microrganismo também possui outros pigmentos comercialmente importantes, como clorofila e os carotenóides. A *S. platensis* é encontrada em regiões tropicais e subtropicais, em meio aquático com elevado teor de carbonatos e bicarbonatos, ou seja, meios com pH alcalino e salinidade elevada (Ali & Saleh, 2012). Tais condições tornam seu cultivo bastante atrativo, pois os habitats extremos inibem o crescimento de microrganismos indesejados. Além disso, sua parede celular é facilmente rompida, o que facilita o acesso aos seus importantes componentes bioativos (Lupatini et al., 2016).

A composição da *S. platensis* pode variar em função do meio de cultivo, sendo comumente cerca de 50 -70 % (m/m) de proteínas, 10 -15 % (m/m) de carboidratos e 5-10 % (m/m) de lipídeos (De Morais et al., 2015). Dentre as ficobiliproteínas, a ficocianina é o principal pigmento da Spirulina, podendo constituir até 30% da massa desta cianobactéria. Além de estar presente em cianobactérias, esse pigmento também pode ser encontrado em algas vermelhas e cryptomonas, e pode ser classificado em três grupos, de acordo com a forma de obtenção, sendo eles, C-ficocianinas, R-ficocianinas e C-ficocianinas II, quando provenientes, respectivamente, de cianobactérias, algas vermelhas e cryptomona (Fernández-Rojas et al. 2014).

3. FICOCIANINAS

A ficocianina derivada da *S. platensis* é comumente utilizada na indústria como corante alimentar em gomas, bebidas, laticínios e também na indústria de cosméticos, em batons e delineadores. Estudos também comprovam o efeito antiviral desse pigmento, bem como, sua possível aplicação no tratamento de infecções do coronavírus, graças às suas propriedades nutracêuticas, anti-inflamatórias, imunoestimulantes e imunomoduladoras, sendo um preventivo método de saúde que requer mais estudos (Rivera et al. 2021).

O grau de pureza do extrato é um fator essencial que determina o campo de aplicação desse pigmento. Este parâmetro é avaliado com base na razão A_{620}/A_{280}, que corresponde a absorbância da ficocianina a 620 nm (A_{620}) e de outras proteínas a 280 nm (A_{620}). A ficocianina é considerada um produto comestível quando a razão $A_{620}/A_{280} \geq 0,7$; como grau de reagente se essa razão está entre 0,7 e 3,9, e com grau analítico quando $A_{620}/A_{280} \geq 4$ (2,3). Além disso, o seu valor comercial varia amplamente e depende do grau de pureza, o preço de mercado da ficocianina com qualidade alimentar é cerca de 0,13 US $ mg, enquanto, seu valor com grau analítico pode chegar até 15 US $ mg.

Diversos fatores podem influenciar o cultivo das cianobactérias para a produção de ficocianinas, dentre eles, os mais importantes são: intensidade da luz, fonte de luz e regime de luz (fotoperíodo), temperatura, pH e composição dos nutrientes. No geral, por serem microrganismos fotossintéticos, ou seja, convertem energia luminosa em energia química no processo de fotossíntese, a luz é um parâmetro que exerce forte influência sobre os metabólitos e crescimento das cianobactérias. A seguir, são apresentados maiores detalhes do efeito da luz nesses cultivos.

4. INTENSIDADE DE LUZ/FONTE DE LUZ/REGIME DE LUZ

Atualmente, o procedimento mais utilizado para o cultivo das cianobactérias é o crescimento autotrófico. Nesse tipo de cultivo, é utilizado energia luminosa e CO_2 como fonte de carbono para realização da fotossíntese (Tian-Yuan et al. 2014; Shen et al. 2017). Comumente, utiliza-se luz solar como fonte de energia luminosa, todavia, para a produção de biocompostos de alto valor agregado, a exemplo da ficocianina, recomenda-se o uso de luz artificial, em função do controle eficiente e padronizado da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos, que resultando em maior produtividade (Prates et al. 2018).

As lâmpadas fluorescentes eram preferencialmente utilizadas como fonte artificial de energia em culturas de cianobactérias. Recentemente, os diodos emissores de luz (LEDs) vêm sendo mais utilizados por ser considerada uma fonte de energia ecologicamente correta. LEDs apresentam diversas vantagens como alta eficiência de conversão de eletricidade, baixo consumo de energia, baixa dissipação de calor, não poluente e durável (Bachchhav et al. 2017; Chaiklahan et al. 2022). Por outro lado, o uso de luz artificiais em comparação a luz solar por longos períodos pode comprometer o custo total de produção (García-López et al. 2020).

As LEDs emitem um comprimento de onda único, que podem, em algumas situações, dificultar a absorção de energia das clorofilas. Como as ficobiliproteinas, a exemplo da ficocianina, são responsáveis por absorver a energia não canalizada pelas clorofilas, nesse sentido, pode haver um aumento na produção de tais pigmentos, afim de elevar a absorção e eficiência energética do para o processo da fotossíntese (Prates et al. 2018). Alguns estudos relataram a aplicação de LEDs como fonte de luz em cultivos de microalgas e cianobactérias. LEDs branca, vermelha, verde, azul e amarela são as fontes de luz

aplicadas com mais frequência para o crescimento da *Spirulina* conforme verifica-se na Tabela 1.

No geral, observa-se que os dados sobre a eficácia fotossintética, bem como o efeito das LEDs ainda permanecem controverso, diferindo entre os trabalhos. Bachchhav et al. (2017) ao avaliarem o efeito das LEDs no cultivo autotrófico da *Spirulina* em comparação com as lâmpadas fluorescentes, observaram que as LEDs aumentaram o teor de ficocianina das células. O estudo evidenciou que LED amarela e azul elevaram, respectivamente, em 3,5 e 2,6 vezes o teor de ficocianina quando comparada ao controle (fluorescente). Em contrapartida, constataram não haver influência significativa entre o conteúdo de ficocianina do experimento controle com as LEDs verde e vermelha. Ademais, foi relado efeito diferente das LEDS com relação ao efeito no crescimento da biomassa. LED vermelha maximizou o crescimento da biomassa (8,95 g/l) enquanto LED azul proporcionou menor crescimento (3,66 g/l).

Prates et al. (2018) ao avaliarem o cultivo da *Spirulina* em diferentes fotoperíodos (integral e parcial - claro/escuro por 12 horas) com LEDs (branca, vermelha, verde e azul), constataram que LEDs em fotoperíodo de luz integral forneceram parâmetros de crescimento da biomassa superiores ao regime parcial. Sendo que, embora todas as LEDS apresentaram resultados superiores ao controle, experimento usando apenas luz fluorescente, o crescimento máximo de biomassa foi obtido com LED vermelha. Em contrapartida, a concentração de ficocianina foi maior no fotoperíodo de luz parcial, tal achado foi atribuído a característica fotossensível desse pigmento, dessa maneira, a incidência de luz contínua do fotoperíodo integral pode ter causado sua degradação. No geral, para todas as cores de LEDs avaliadas a concentração de ficocianina foi maior que o experimento controle, sendo que a máxima concentração foi obtida com a LED verde e azul.

García-López et al. (2020) também avaliaram a influência do período de incidência de luz nos cultivos. Os pesquisadores avaliaram o efeito da LED azul versus branca durante um tempo de indução de 24 e 48 horas, sendo observado um aumento significativo no teor de ficocianina ao utilizar LED azul. Os resultados encontrados no estudo indicaram que apenas 24 horas de indução foi suficiente para concentração do pigmento.

Lima et al. (2018) avaliaram estratégias de iluminação com LEDs azul e vermelha em diferentes composições afim de verificar a relação entre a produtividade da cianobactéria, clorofila-a, teores totais de carotenoides e ficocianinas. Os resultados indicaram que empregar 70 e 30 % de fótons de LEDs vermelha e azul respectivamente, produziu as maiores taxas de produtividade de biomassa e, consequentemente, produziram as maiores concentrações de clorofila, carotenoides e ficocianina no volume da cultura. Para ficocianina, a luz vermelha maximizou a contração da ficocianina por massa celular, alcançando um valor de 167,07 mg g^{-1}.

Tabela 1. Efeito das LEDs no crescimento da biomassa e ficocianina da *S. platensis*

Leds	Intensidade	Condição ótima	Teor máximo	Outros Parâmetros	Referência
Azul, Verde Vermelha Branca	3200/500 µmol m^{-2} s^{-1}	Máximo de ficocianina: Fotoperíodo: 12 h de luz fluorescente branca, 6 h de luz verde, 6 h escuro Máximo de biomassa: Fotoperíodo: 12 h de luz fluorescente branca, 12 h de luz vermelha	Ficocianina: 126,39 mg $g_{biomassa}^{-1}$ Biomassa: 1,77 g L^{-1}	Meio Zarrouk Método de extração: banho ultrassônico	(Prates et al. 2018)
Vermelha Azul	70/30 µmol$m^{-2}s^{-1}$	Máximo de ficocianina e de biomassa: Combinação de LED 70/30% de vermelho/azul	Ficocianina: 0,168 g mL^{-1} Biomassa: 0,148 g L^{-1}	Meio Zarrouk modificado Método de extração: congelamento/ descongelamento	(Lima et al. 2018)
Vermelha Branca, Amarela Verde Azul		Máximo de Ficocianina: Amarelo Máximo de Biomassa: Vermelha	Ficocianina: 242 mg $g_{biomassa}^{-1}$ Biomassa: 8,95 g L^{-1}	Meio Zarrouk Método de extração: Congelamento/ descongelamento	(Bachchhav et al. 2017)
Azul	350 µmolm^{-2} s^{-1}	Máximo de ficocianina: Azul Máximo de Biomassa: Não foi avaliado	Ficocianina: 150 mg $g_{biomassa}^{-1}$	Meio Zarrouk modificado Método de extração: Congelamento/ descongelamento	García-López et al. (2020)

Fonte: Própria, 2023.

A obtenção das ficocianinas envolve a desintegração da membrana celular da cianobactéria, que normalmente começa com extração sólido-líquido utilizando solvente aquoso. No geral, a escolha do método de extração e as condições de cultivo (temperatura, meio de cultivo, intensidade de iluminação dentre outros) são fatores com forte influência no rendimento do processo de extração (Pez Jaeschke et al. 2021). Sendo assim, é impossível definir dentre os diferentes trabalhos avaliados na Tabela 1 qual melhor estratégia apenas comprando os resultados máximos obtidos em cada estudo, uma vez que existem diferenças no cultivo e no método de extração.

Em resumo, os resultados encontrados dentre esses autores indicam que LED vermelha apresenta efeito positivo no crescimento da biomassa. Com relação ao efeito das LEDs na indução de ficocianina, os resultados encontrados divergem sendo um indicativo de que novas investigações precisam ser realizadas a fim de avaliar qual a melhor estratégia de cultivo que maximiza a obtenção desse pigmento, contudo, nota-se leds verde, amarela e azul fornecem maiores concentrações de ficocianinas dentre os trabalhos avaliados. O tempo de incidência da luz durante os cultivos, o fotoperíodo de luz (integral, parcial) e uso combinado de mais de uma LED apresentam-se como parâmetros com forte influência na produtividade da ficocianina, sendo assim, acredita-se que novas estratégias de estudo avaliando esses parâmetros isoladamente e após combinados precisam ser realizados

afim de encontrar a condição ótima de cultivo que aumente a produtividade das ficocianinas.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo revisar o efeito do espectro de luz no crescimento da biomassa e produção de ficocianina na cianobactéria *S. platensis.* Embora a luz solar seja comumente utilizada para obtenção da biomassa, o uso de luz artificial apresenta-se vantajoso a produção de biocompostos de alto valor agregado, a exemplo da ficocianina. De maneira geral, observa-se que as lâmpadas de LEDs oferecem diversas vantagens quando comparadas a lâmpadas fluorescentes, como baixo consumo de energia, alta eficiência de conversão elétrica e baixa dissipação de calor, além de aumentar o conteúdo de ficocianina na biomassa.

O cultivo da *S. platensis* pode ser realizado em regime de fotoperíodo integral ou parcial de luz. O uso de LEDs em fotoperíodo de luz parcial foi considerado mais promissor para produção de ficocianina, uma vez que esse regime além de reduzir custo do processo pode proporciona maior produção desse pigmento na biomassa, pois sendo a ficocianina é um pimento fotossensível, alta intensidade de luz de maneira contínua pode resultar na sua degradação. Com relação ao crescimento da biomassa, dentre as LEDs que têm sido avaliadas, a vermelha proporcionou melhores resultados. Por outro lado, para a produção de ficocianina o efeito das LEDs variou dentre os trabalhos encontrados, mas a luz azul, amarelo e verde apresentam bons resultados.

O tempo de incidência de luz durante os cultivos, o fotoperíodo (integral, parcial) e o uso combinado de mais de uma cor de LED apresentam-se como parâmetros que precisam serem melhores explorados. Por fim, observa-se que os estudos publicados até o momento abordam o grande potencial das culturas de cianobactérias quando são iluminadas com LEDs, mas acredita-se que futuras investigações devam se concentrar na determinação da combinação ideal de parâmetros.

REFERÊNCIAS

[1] Aliyu A, Lee JGM, Harvey AP (2021) Microalgae for biofuels via thermochemical conversion processes: A review of cultivation, harvesting and drying processes, and the associated opportunities for integrated production. Bioresour Technol Reports 14:100676. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100676

[2] Bachchhav MB, Kulkarni MV, Ingale AG (2017) Enhanced Phycocyanin Production from Spirulina platensis using Light Emitting Diode. J Inst Eng Ser E 98:41–45. https://doi.org/10.1007/s40034-016-0090-8

[3] Castillo T, Ramos D, García-Beltrán T, et al (2021) Mixotrophic cultivation of microalgae: An alternative to produce high-value metabolites. Biochem Eng J 176:. https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.108183

[4] Chaiklahan R, Chirasuwan N, Srinorasing T, et al (2022) Enhanced biomass and phycocyanin production of Arthrospira (Spirulina) platensis by a cultivation management strategy: Light intensity and cell concentration. Bioresour Technol 343:126077. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126077

[5] Chentir I, Hamdi M, Li S, et al (2018) Stability, bio-functionality and bio-activity of crude phycocyanin from a two-phase cultured Saharian Arthrospira sp. strain. Algal Res 35:395–406. https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.09.013

[6] Eriksen NT (2008) The technology of microalgal culturing. Biotechnol Lett 30:1525–1536. https://doi.org/10.1007/s10529-008-9740-3

[7] Fernández-Rojas B, Hernández-Juárez J, Pedraza-Chaverri J (2014) Nutraceutical properties of phycocyanin. J Funct Foods 11:375–392. https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.011

[8] García-López DA, Olguín EJ, González-Portela RE, et al (2020) A novel two-phase bioprocess for the production of Arthrospira (Spirulina) maxima LJGR1 at pilot plant scale during different seasons and for phycocyanin induction under controlled conditions. Bioresour Technol 298:122548. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122548

[9] Giraldo-Calderón ND, Romo-Buchelly RJ, Arbeláez-Pérez AA, et al (2018) Microalgae biorefineries: Applications and emerging technologies. DYNA 85:219–233. https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.68780

[10] Jespersen L, Strømdahl LD, Olsen K, Skibsted LH (2005) Heat and light stability of three natural blue colorants for use in confectionery and beverages. Eur Food Res Technol 220:261–266. https://doi.org/10.1007/s00217-004-1062-7

[11] Käferböck A, Smetana S, de Vos R, et al (2020) Sustainable extraction of valuable components from Spirulina assisted by pulsed electric fields technology. Algal Res 48:. https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101914

[12] Lima GM, Teixeira PCN, Teixeira CMLL, et al (2018) Influence of spectral light quality on the pigment concentrations and biomass productivity of Arthrospira platensis. Algal Res 31:157–166. https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.02.012

[13] Lysenko V, Kosolapov A, Usova E, et al (2021) Chlorophyll fluorescence kinetics and oxygen evolution in Chlorella vulgaris cells: Blue vs. red light. J Plant Physiol 258–259:153392. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153392

[14] Perez-Garcia O, Escalante FME, de-Bashan LE, Bashan Y (2011) Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products. Water Res 45:11–36. https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.037

[15] Pez Jaeschke D, Rocha Teixeira I, Damasceno Ferreira Marczak L, Domeneghini Mercali G (2021) Phycocyanin from Spirulina: A review of extraction methods and stability. Food Res Int 143:. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110314

[16] Prates D da F, Radmann EM, Duarte JH, et al (2018) Spirulina cultivated under different light emitting diodes: Enhanced cell growth and phycocyanin production. Bioresour Technol 256:38–43. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.122

[17] Rivera C, Niño L, Gelves G (2021) Modeling of phycocyanin production from Spirulina platensis using different light-emitting diodes. South African J Chem Eng 37:167–178. https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.05.005

[18] Romay C, Gonzalez R, Ledon N, et al (2005) C-Phycocyanin: A Biliprotein with Antioxidant, Anti-Inflammatory and Neuroprotective Effects. Curr Protein Pept Sci 4:207–216. https://doi.org/10.2174/1389203033487216

[19] Shen L, Damascene Ndayambaje J, Murwanashyaka T, et al (2017) Assessment upon heterotrophic microalgae screened from wastewater microbiota for concurrent pollutants removal and biofuel production. Bioresour Technol 245:386–393. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.177

[20] Tian-Yuan Z, Yin-Hu W, Lin-Lan Z, et al (2014) Screening heterotrophic microalgal strains by using the Biolog method for biofuel production from organic wastewater. Algal Res 6:175–179. https://doi.org/10.1016/j.algal.2014.10.003

Autores

AUTORES

ALINE MARA OLIVEIRA (ORGANIZADORA)

Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2012). Pós Graduada em Gestão de Projetos (FGV 2014-5015). Ministrou aulas no Centro Universitário do Planalto de Araxá(2015-2016) e no CEFET-MG nos cursos de graduação e técnicos. Tem experiência na área de Automação Industrial, Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: redes industriais, proteção de sistemas elétricos, IEC-61850, automação, instrumentação, sistemas de controle, equacionamento de controladores, sistemas multivariáveis e teoria de controle. Trabalhou na indústria no setor de projetos industrias no período de 2007 a 2015. Mestre pela Universidade Federal de Uberlândia. (2017-2019). Atualmente doutoranda no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.(2019-2023)

OSVALDO SENA GUIMARÃES (ORGANIZADOR)

Graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy (1983), Ênfase em Engenharia de Transportes EEK (1983), Análise De Sistemas - UFMG(1985), Especialização em Gestão de Projetos de Engenharia IEC/PUC (2012), Mestrado em Estratégia FEAD (2005). Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Minas Gerais (2015-2017 Divinópolis). Professor na Faculdade Senac Minas. Atua na área de ensino superior desde 1988 como Professor, Coordenador de Curso, Coordenador de Extensão, Coordenador de Iniciação Científica e de Pré-incubadora de base Tecnológica. Atua na área de Engenharia, Computação e Projetos desde 1984.

ADEMILSON CARLOS TEIXEIRA

Doutorado em Ensino e História de Ciências da Terra - Transmídia, Unicamp, em andamento 2021 a 2023. Formação em Pós-graduado em Dança e Consciência Corporal, Unimetrocamp 2019, Pós-graduado em Gestão Educacional e Docência no Ensino Superior, Unimetrocamp - 2018, Mestre em Ensino e História de Ciências da Terra, Transmídia - Unicamp - 2017, Pós-graduado em MBA em Gestão Estratégica de Negócios, Unimetrocamp - 2015, Pós-graduado em MBA em Gestão Estratégica da Comunicação Integrada com Ênfase em Comunicação Pública e Responsabilidade Social, Unimetrocamp - Vivência no idioma Espanhol em Honduras 2020 - 2021 e Vivência de 20 dias no idioma Espanhol no Perú Julho - 2019, Curso de inglês e vivência Estados Unidos - ELS Certificate of Attendance 2012 2013, Inglês Wizard 2006 - 2012 em 2009, Graduado em Comunicação Social Jornalismo - PUC-Campinas - 2001, Colégio Técnico de Comércio Bento Quirino Técnico em Contabilidade - Campinas 1988, Conservatório Musical Carlos Gomes Formação Ator - Campinas 1989.

ALFREDO BORGES DE CAMPOS

Possui graduação em Geologia (UFMG), mestrado em Geomorfologia (USP), e doutorado em Ciência do Solo e Meio Ambiente (Universidade de Purdue-EUA). Iniciou a carreira profissional como Geólogo da GEOSOL atuando em projeto de prospecção de ouro para a empresa Vale do Rio Doce. Foi bolsista do CNPq na graduação e no mestrado e da OEA/Fulbright/Laspau/Purdue no doutorado. Foi docente na Universidade Federal de Goiás (1996-2012) e pesquisador visitante na Universidade de Waterloo, Canadá, em 2010, e na Universidade de Cardiff, Reino Unido, em 2018. Atualmente é Professor do Instituto de Geociências da UNICAMP onde tem atuado como Chefe do Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Coordenador do convênio de pesquisa e intercâmbio acadêmico UNICAMP-Cardiff University, Coordenador da Área de Planejamento, Internacionalização e Comunicação (APLAN), Coordenador do Laboratório de Geoquímica Experimental. Foi organizador do 9th International Symposium AgroEnviron2014 e atua como revisor ad-hoc de periódicos nacionais e internacionais. Coordena ou participa como pesquisador em vários projetos de pesquisa financiados. É bolsista de Produtividade do CNPq na área de Geoquímica desde 2015. Tem larga experiência no estudo de processos exógenos com ênfase em geoquímica, solos, hidrologia e geomorfologia. Atualmente trabalha nas áreas de meio ambiente e recursos minerais com temas relacionados à geoquímica ambiental; geoquímica de superfície; geoquímica dos solos e depósitos lateríticos; geoquímica de reservatórios de óleo e gás; gênese, evolução e dinâmica de regolitos e solos tropicais; poluição e conservação do solo e águas; planejamento ambiental.

AUTORES

CLAUDIA ROSA DO ESPÍRITO SANTO NÓBREGA

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual do Maranhão (2010), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2015),. Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2019). Atualmente desenvolve pesquisa em armazenamento térmico, modelagem e experimentação em tubos de calor e aplicações em trocadores de calor

CLEITON BITTENCOURT DA PORCIÚNCULA

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG, 2005). Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2013), com ênfase na produção de hidrogênio via corrosão alcalina do alumínio para uso em células de combustível. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2007) na área de simulação fluidodinâmica computacional (CFD) aplicada a processos de separação por membranas. Desenvolveu pesquisas na área de gaseificação e incineração de resíduos de biomassa e filtração a seco de particulados. Principais objetivos: docência, pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico na área de Energia, com especial interesse em células de combustível e/ou geração de hidrogênio. Realizou Pós-doutorado em Engenharia Química (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) com ferramentas de matemática aplicada e programação computacional para estudo da redução de mecanismos cinéticos para combustão de chamas de biodiesel no período de abril/2013 a março/2014 (incompleto). Atualmente é Professor Adjunto (Dedicação Exclusiva) na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Unidade em Santa Cruz do Sul, curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Foi Coordenador do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia de maio de 2016 até maio de 2018. Também é membro do NDE (Núcleo Docente Estruturante) do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia desde setembro de 2016. Fez parte do Consun (Conselho Superior Universitário) no período de 2018 a 2020.

DIÓGENES LEITE SOUZA

Engenheiro Mecânico e Mestre em Computação e Sistemas pela Universidade Estadual do Maranhão com ênfase em computação aplicada. Leciona para turmas de Engenharia Mecânica, de Produção e Especialização em Mecânica Computacional como professor contratado na Universidade Estadual do Maranhão. Experiência em software de modelagem 3D e simulações fluidodinâmicas, como SolidWorks e AutoCad, softwares de planejamento como MS Project e Excel, de programação e análise de dados como MatLab e de gestão de ordens de serviço.

ELOIZA MARIA CAUDURO DIAS DE PAIVA

Graduação em Curso de Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (1977), mestrado em Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo (1987) e doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1996) e pós-doutorado na Virginia Tech (2012).

FERNANDO LIMA DE OLIVEIRA

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA (2003) e mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA (2007). Possui doutorado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA (2012). Atualmente é professor Adjunto IV da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Aproveitamento da Energia, atuando principalmente nas seguintes áreas: Propulsão, Combustão Pulsante, Emissão de Poluentes e Energias Alternativas.

FLÁVIO NUNES PEREIRA

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual do Maranhão (2006), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2009) e doutorado em

AUTORES

Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2021). Atualmente é professor assistente da Universidade Estadual do Maranhão. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Mecânica Computacional, atuando principalmente nos seguintes temas: Phononic crystal, Spectral element and Mechanical vibrations.

GÉSSICA LUIZA SCARIOT

Professora no Centro Universitário IDEAU. Mestra em Administração, Gestão, Internacionalização e Logística pela UNIVALI

INGRID ROCHA TEIXEIRA

Graduada no curso de Engenharia Química pela Universidade Salvador (2019). Atualmente bolsista CAPES a nível de doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia. Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2022). Especialista em Biotecnologia pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (2023). Trabalhou como analista de qualidade da Chlorum Solutions (2023), no qual realizou a montagem do laboratório e participou do comissionamento da plana na realização das análises dos produtos acabados, matéria-prima e pontos críticos do processo. Estagiou no Instituto de Meio Ambiente e Recurso hídricos (2019) na Coordenação de Indústrias e Serviços. Ex-Integrante do grupo de pesquisa Catálise e Ambiente (2018), onde desenvolveu um projeto de iniciação científica como bolsista da FAPESB com o seguinte tema: Análise Qualitativa e Quantitativa do Extrato de Alecrim no Biodiesel 80/20% (m/m) Soja/Sebo. Ganhou 3 vezes o prêmio Mérito Acadêmico que é concedido aos 03 (três) melhores alunos de cada um dos cursos de Graduação (Bacharelado e Licenciatura) e Graduação Tecnológica da UNIFACS a cada semestre, ficando em primeiro lugar no primeiro e segundo semestre de 2016 e em segundo lugar no primeiro semestre de 2017.

JAQUELINE BIANCA CARVALHO DUARTE

Engenheira química responsavel por laboratório de controle de qualidade de mineração, green belt de projetos de melhoria, MBA em Qualidade e Gestão, possuo experiencia em gestão de equipe de laboratório, competencias tecnicas em analises de FTIR e via de referencia de bauxita (ICP,XRF, Digestão, etc), processamento físico e tecnicas de amostragem com tratamentos estatistico avançado de dados de analises de processo e produção.

JOSÉ BELLO SALGADO NETO

Doutor em Urbanismo pelo PROURB/UFRJ, Mestre em Administração (UFSC), Mestre Profissional em Engenharia Mecânica (UNICAMP), Engenheiro Civil (FESM), Professor Adjunto dos Cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil da UEMA, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação do Centro de Ciências Tecnológicas da UEMA, Coordenador do Curso Técnico em Edificações a Distância pelo Programa e-Tec Brasil/UEMA. Lotado no Departamento de Arquitetura e Urbanismo, vêm desenvolvendo pesquisas com o apoio da FAPEMA na área de Meio Ambiente, Urbanismo, Políticas Públicas Urbanas e Ambientais e Estudo dos Riscos.

JOSE CARLOS SANTOS SANTANA

Formado em Gestão Portuária pela Fatec Rubens Lara. Cursando atualmente Comércio Exterior pela Unip. Exerço função na área da saúde.

LOURIVAL MATOS DE SOUZA FILHO

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual do Maranhão, Mestre e Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Térmica e Fluidos, atuando principalmente nos seguintes temas: Termoacumulação, Fenômeno de Transportes, Mecânica dos Fluidos computacional, modelagem numérica e Termodinâmica. Atualmente é professor Adjunto III da Universidade

AUTORES

Estadual do Maranhão. Professor Permanente do Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica do IFMA.

LUCAS RUAN SANTOS OLIVEIRA

Possui Ensino médio completo pelo Centro de Ensino Barbosa de Godóis (2018). Possui curso técnico profissionalizante em Eletromecânica pelo Instituto Federal do Maranhão (2019). Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual do Maranhão.

LUIZ EDUARDO SIMÃO

Professor na Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pela UFSC. Doutorado Sanduíche no Fraunhofer Institute IML - Institute for Material Flow and Logistics, Alemanha.

MARCELFELIPE TONETTO COSTAS

Engenheiro Civil. Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Santa Maria

MARCOS ANTÔNIO CEZNE

Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS - Campus Erechim). Mestre em Administração, Gestão, Internacionalização e Logística pela UNIVALI

MARLENE GUEVARA DOS SANTOS

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande (2002) e mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (2005), doutoranda em Engenharia de materiais pela UFRGS. Atualmente é professora assistente da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Tem experiência docente em cursos de engenharia e Gestão Ambiental e experiência de 10 anos em indústria em Gestão de pessoas e processos na área Ambiental, projetos de estações de tratamento de esgoto e efluentes e na produção de peças em plástico reforçado com fibra de vidro. Atua como coordenadora do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Uergs unidade em Bento Gonçalves e como docente da Pós graduação em Gestão Ambiental na Indústria e na Pós graduação em Biotecnologia. Coordenadora do comitê técnico do programa INOVA RS região Serra e Hortênsias da Secretaria de Inovação Ciência e Tecnologia do estado do Rio Grande do Sul

MARLICE CRUZ MARTELLI

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (1987), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (1997) e doutorado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (2006). Atualmente é professora associado IV da Universidade Federal do Pará. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Mineralogia Aplicada, Resíduos Sólidos e Processos de Separação, atuando principalmente nos seguintes temas: alumina, caulim, adsorção, adsorvente e zeólita.

MAURO SÉRGIO SILVA PINTO

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Maranhão (2004), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Maranhão (2006) e doutorado em Engenharia Elétrica pela UFMA/FEUP Europa (2016). Atualmente é professor adjunto III da Universidade Estadual do Maranhão. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: wind power, incêncios, segurança pública, eficientização energética e instalações elétricas e na gestão de projetos (experiência de 5 anos como coordenador de projetos). Atualmente é vice-coordnedor do Mestrado em Eng. da Computação.

AUTORES

NATÁLIA ESTEVES DOS SANTOS

Graduanda em Engenharia química com foco em qualidade e melhoria de processos, green belt de projetos de melhoria contínua com experiencia no gerenciamento e elaboração de projetos CAPEX e OPEX, manipulação e criação de cronogramas e controles, reuniões com clientes externos e controle de produtividade das equipes. Possui experiencia na área de laboratórios com competências técnicas em analises de águas e efluentes seguindo os padrões internacionais, analise química e processamento físico e técnicas de amostragem para minério de bauxita com tratamentos estatístico avançado de dados de analises de processo e produção.

PAULO ROBERTO CAMPOS FLEXA RIBEIRO FILHO

Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Ceará (2023) (Conceito Capes 7), Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Cecília (2014) (Conceito Capes 4), Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual do Maranhão (2011). Desde abril/2016 é docente no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), atualmente Professor Adjunto I. Na UEMA, foi diretor do curso de Engenharia Mecânica (2017-2018), chefe da Divisão de Estágios e Monitoria da Pró-reitoria de Graduação (PROG) da UEMA (2023), e atualmente é chefe da Divisão de Acompanhamento e Avaliação de Ensino (DAAE/PROG/UEMA). Foi professor da Universidade CEUMA em 2015 e do Instituto Federal do Maranhão (IFMA) em 2016. Foi Engenheiro de manutenção do Consórcio de Alumínio do Maranhão controlado pela ALCOA S.A (2011-2015). Desenvolve pesquisa em biolubrificantes com foco nos aspectos tribológicos: atrito, desgaste e lubricidade.

RICARDO YVAN DE LA CRUZ CUEVA

Graduado em Física na Universidad Federico Villarreal (2005), Mestrado na UFRN (2007), Doutorado no INPE (2013), Pesquisador associado em Boston College (2010), Pós-Doutorado no CRAAM/Mackenzie (2015). Atualmente é coordenador do grupo Aeronomia e professor/pesquisador na Universidade Estadual do Maranhão. Main area: Geosciences & Physics Teaching Reasearcher @ Space Geophysics/Ionosphere/Space Weather fields

THAIS CRISTINA OLIVEIRA MACIEL CORRÊA

Formada em Gestão Portuária pela Fatec Rubens Lara. Cursando atualmente Sistemas para internet na Fatec

UBIRACI SILVA NASCIMENTO

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP(2020). Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP(2004). possui mestrado em Ciências da Educação pela Universidade Estadual do Maranhão, convênio com IPLAC (2000). Atualmente é Professor Adjunto I da Universidade Estadual do Maranhão. Exerceu o cargo de Chefe de Departamento de Física - 2001/2003 e do Laboratório de Física de 2003/2010, Desenvolve pesquisas na área de Térmicas e Fluídos. Tem experiência na área de Engenharia Civil e Educação em Formação de habilidades Experimentais em Física e Matemática. É cantor e compositor maranhense e desenvolve trabalhos na área da música e cultura de modo geral.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson